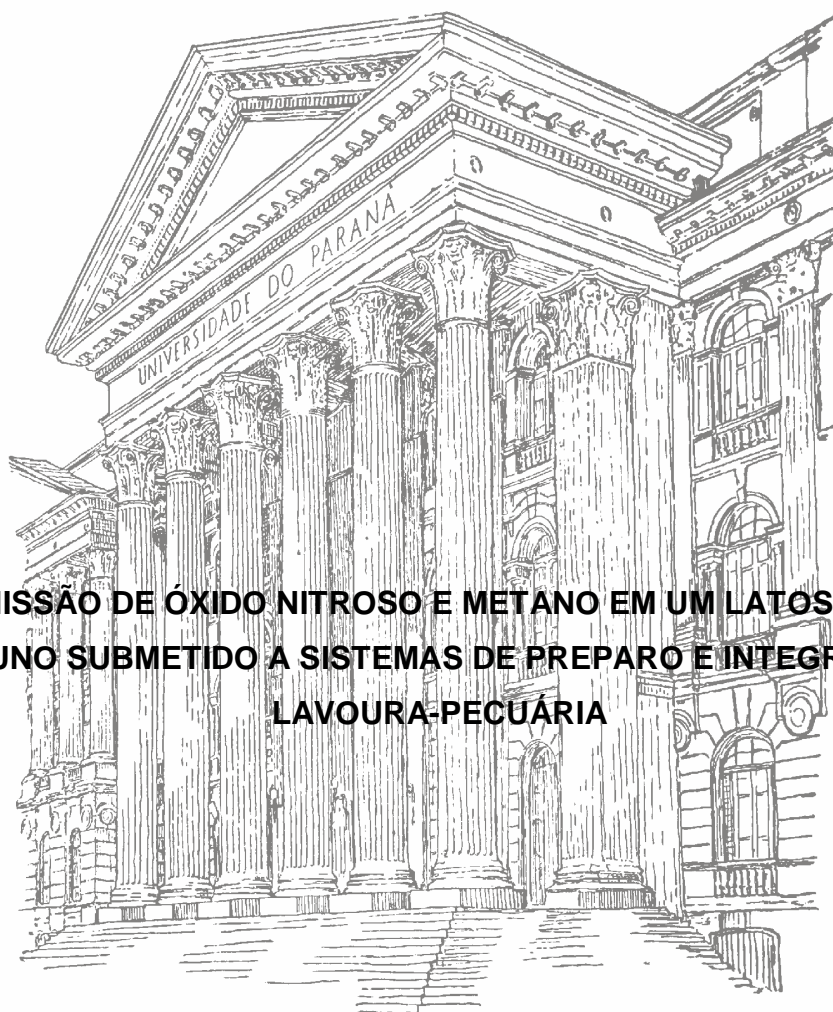


**JONATAS THIAGO PIVA**

**EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO E METANO EM UM LATOSSOLO  
BRUNO SUBMETIDO A SISTEMAS DE PREPARO E INTEGRAÇÃO  
LAVOURA-PECUÁRIA**



**CURITIBA**

**2010**

**JONATAS THIAGO PIVA**

**EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO E METANO EM UM LATOSSOLO  
BRUNO SUBMETIDO A SISTEMAS DE PREPARO E INTEGRAÇÃO  
LAVOURA PECUÁRIA**

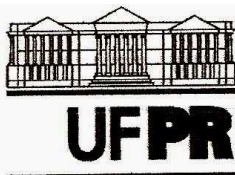
Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Pedologia e Manejo do Solo, Linha de Pesquisa Física, Manejo e Qualidade do Solo e da Água, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof.Dr. Jeferson Dieckow

Co-Orientador: Prof. Dr. Anibal de Moraes

**CURITIBA**

**2010**

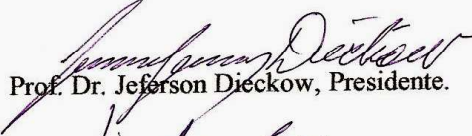


MINISTERIO DA EDUCACAO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO)  
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-3350-5648  
Página: [www.pgcsolo.agrarias.ufpr.br/](http://www.pgcsolo.agrarias.ufpr.br/)  
E-mail: [pgcsolo@ufpr.br](mailto:pgcsolo@ufpr.br)

## PARECER


Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **JONATAS THIAGO PIVA**, sob o título: **"Emissão de óxido nitroso e metano em Latossolo Bruno submetido a sistemas de preparo e integração lavoura-pecuária"**, requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Concentração: Pedologia e Manejo do Solo, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e argüido o candidato, são de Parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração: "Pedologia e Manejo do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 19 de fevereiro de 2010.

  
Prof. Dr. Jeferson Dieckow, Presidente.

  
Prof. Dr. Cimélio Bayer, Iº. Examinador.

  
Dra. Josiléia Acordi Zanatta, IIª. Examinadora.

  
Prof. Dr. Anibal de Moraes, IIIº. Examinador.



*Dedico este trabalho aos meus pais,  
**Hilário D. Piva, In memorian e Leocirse C. B. Piva,** e  
aos meus irmãos, **Clovis, Claudete, Claudiney e Marlova,**  
que sempre acreditaram e incentivaram meus estudos.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus em primeiro lugar, por me conceder todas as possibilidades e guiar os meus passos.

Ao professor Jeferson Dieckow, não só pelo empenho e dedicação na orientação deste trabalho, mas também pela amizade e exemplo de pessoa demonstrada durante esses anos.

Ao professor Anibal de Moraes pelo incentivo e apoio na co-orientação do trabalho.

Ao Professor Cimélio Bayer pelas várias contribuições e ajuda no desenvolvimento das atividades.

Ao Professor Luís César Cassol, mais do que um incentivador deste trabalho, um verdadeiro “pai” para mim.

Ao PPG em Ciência do Solo/UFPR seus professores e funcionários pelo aprendizado e acolhida durante esses dois anos.

A Fundação ABC pela disposição da área experimental e apoio na execução do trabalho.

Ao CNPq pela bolsa de mestrado.

A todos os meus colegas e amigos de mestrado do PPG em Ciência do Solo em especial a Fernando, Tales, Lucio, pelo apoio em atividades e constante troca de idéias e aprendizado conjunto.

Aos bolsistas da graduação que ajudaram principalmente nos trabalhos de campo, em especial ao Maico.

Ao meu pai *in memoriam* que sempre se esforçou e batalhou para que seus filhos pudessem terminar os estudos e realizassem seus sonhos.

A minha mãe que sempre me apoiou e incentivou pela busca do conhecimento e da aprendizagem.

Aos meus irmãos pelo apoio financeiro e emocional para que eu continuasse a batalhar por meu sonho.

A Claudia pelo apoio e incentivo durante esses anos, pelo seu amor, companheirismo e compreensão comigo.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho o meu muito obrigado.

**EMIÇÃO DE ÓXIDO NITROSO E METANO EM UM LATOSSOLO  
BRUNO SUBMETIDO A SISTEMAS DE PREPARO E INTEGRAÇÃO  
LAVOURA-PECUÁRIA**

Autor: Eng<sup>o</sup>. Agr<sup>o</sup>. Jonas Thiago Piva

Orientador: Prof. Dr. Jeferson Dieckow

**RESUMO:** Sistemas de manejo do solo possuem uma relação direta com a emissão de gases do efeito estufa. O objetivo deste estudo foi avaliar a emissão de óxido nitroso e metano de um Latossolo Bruno submetido a sistemas de preparo do solo e sistemas de uso do azevém no inverno, envolvendo integração lavoura-pecuária (ILP), visando assim contribuir para a avaliação do potencial de mitigação de gases de efeito estufa desses sistemas. O trabalho foi conduzido num experimento de campo situado em Castro (PR). O sistema de culturas foi azevém–milho silagem. Os tratamentos avaliados foram: preparo convencional com azevém para cobertura (PC-COB), plantio direto com azevém para cobertura (PD-COB) e plantio direto com azevém para pastejo em ILP (PD-ILP). Amostras de ar foram coletadas em câmaras estáticas e analisadas por cromatografia gasosa, no quarto ano do experimento, de 26/09/2008 à 16/09/2009. Menor emissão de N<sub>2</sub>O ocorreu no sistema PD-COB (0,76 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) em relação ao sistema PC-COB (1,45 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>), possivelmente em função da menor mineralização dos resíduos culturais no primeiro. A emissão de CH<sub>4</sub> não diferiu entre esses dois sistemas (média de 0,66 kg C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>). Não houve correlação entre o teor de N-inorgânico ou a porosidade preenchida com água do solo e as taxas de emissão de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>. O sistema PD-ILP teve maior emissão de N<sub>2</sub>O (2,56 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) e de CH<sub>4</sub> (0,99 kg C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>) em relação ao PD-COB (0,75 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> e 0,64 kg C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>), possivelmente devido à aplicação de fertilizante N na pastagem de azevém, que não ocorreu no azevém para cobertura, e à reciclagem de N através da urina e esterco no sistema integrado.

**Palavras chaves:** Gases do efeito estufa, potencial de aquecimento global, plantio direto, sistemas de produção integrados.

**EMISSION OF NITROUS OXIDE AND METHANE IN AN OXISOL  
SUBMITTED TO SYSTEMS PREPARATION AND CROP-LIVESTOCK  
INTEGRATION**

Author: Eng<sup>o</sup>. Agr<sup>o</sup>. Jonas Thiago Piva

Advisor: Teach. Doc. Jeferson Dieckow

**ABSTRACT:** Systems of soil management have a direct relationship with the emission of greenhouse gases. The objective of this study was to evaluate the emission of nitrous oxide and methane from an Oxisol submitted to systems of tillage systems and use of ryegrass in the winter, involving crop-livestock integration (CLI), thereby contributing to the assessment of the potential mitigation of greenhouse gases such system. The work was conducted in a field experiment located in Castro (Paraná, Brazil). The system of ryegrass crops was corn silage. The treatments were: conventional tillage with rye grass to cover (CT-COV), no tillage with rye grass to cover (NT-COV) and no tillage with rye grass for grazing in CLI (NT-CLI). Air samples were collected from stationary cameras and analyzed by gas chromatography in the fourth year of the experiment, from 26/09/2008 to 16/09/2009. Lower emissions of N<sub>2</sub>O occurred in the system NT-COV (0.76 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) with respect to the CT-COV (1.45 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>), possibly due to lower mineralization of the waste cultural in the first. The emission of CH<sub>4</sub> was not different between these two systems (average of 0.66 kg C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>). There was no correlation between the concentrations of N-inorganic or porosity filled with water from the soil and emission rates of N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub>. The NT-CLI system had increased emission of N<sub>2</sub>O (2.56 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) and CH<sub>4</sub> (0.99 kg C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>) in relation to NT-COV (0.75 kg N - N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> and 0.64 kg C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>), possibly due to fertilizer N in ryegrass, but not in the rye for cover, and the recycling of N through urine and manure in the integrated.

**Key-words:** Greenhouse gases, global warming potential, no-tillage, integrated production systems.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CRONOGRAMA DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O PERÍODO DE AVALIAÇÃO DE EMISSÃO DE N <sub>2</sub> O E CH <sub>4</sub> .....	19
FIGURA 2 - PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DIÁRIA E TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA DO AR DURANTE O PERÍODO DE AVALIAÇÃO DE EMISSÕES DE N <sub>2</sub> O E CH <sub>4</sub> . FONTE: FUNDAÇÃO ABC, CASTRO-PR.....	23
FIGURA 3 - EMISSÃO DE N <sub>2</sub> O DO SOLO SUBMETIDO A SISTEMAS DE PREPARO E A SISTEMAS DE USO DO AZEVÉM NO INVERNO. PC-COB: PREPARO CONVENCIONAL COM AZEVÉM PARA COBERTURA; PD-COB: PLANTIO DIRETO COM AZEVÉM PARA COBERTURA; PD-ILP: PLANTIO DIRETO COM AZEVÉM PARA PASTEJO EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA; PD-ILP-ES: APLICAÇÃO DE ESTERCO; PD-ILP-UR: APLICAÇÃO DE URINA. BARRAS VERTICAIS INDICAM A DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICA PELO TESTE TUKEY ( $P < 0,10$ ) NÚMEROS PRÓXIMOS AS BARRAS CORRESPONDEM AO NUMERO DE ORDEM DE COLETA.....	25
FIGURA 4 – CONCENTRAÇÃO DE N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (A) E N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (B) NA CAMADA DE 0-5 cm DO SOLO SUBMETIDO A SISTEMAS DE PREPARO E A SISTEMAS DE USO DO AZEVÉM NO INVERNO. PC-COB: PREPARO CONVENCIONAL COM AZEVÉM PARA COBERTURA; PD-COB: PLANTIO DIRETO COM AZEVÉM PARA COBERTURA; PD-ILP: PLANTIO DIRETO COM AZEVÉM PARA PASTEJO EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA.....	26
FIGURA 5 - POROSIDADE PREENCHIDA POR ÁGUA (PPA) NA CAMADA DE 0-5 cm DO SOLO SUBMETIDO A SISTEMAS DE PREPARO E A SISTEMAS DE USO DO AZEVÉM NO INVERNO. PC-COB: PREPARO CONVENCIONAL COM AZEVÉM PARA COBERTURA; PD-COB: PLANTIO DIRETO COM AZEVÉM PARA COBERTURA; PD-ILP: PLANTIO DIRETO COM AZEVÉM PARA PASTEJO EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA.....	28
FIGURA 6 - RELAÇÃO ENTRE A EMISSÃO DE N <sub>2</sub> O E A PPA (%) DA CAMADA DE 0-5 cm.....	30
FIGURA 7 - EMISSÃO ACUMULADA DE N <sub>2</sub> O DO SOLO SUBMETIDO A SISTEMAS DE PREPARO E A SISTEMAS DE USO DO AZEVÉM NO INVERNO. PC-COB: PREPARO CONVENCIONAL COM AZEVÉM PARA COBERTURA; PD-COB: PLANTIO DIRETO COM AZEVÉM PARA COBERTURA; PD-ILP: PLANTIO DIRETO COM AZEVÉM PARA PASTEJO EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA.....	31



FIGURA 8 - RELAÇÃO ENTRE A EMISSÃO DE  $N_2O$  E A CONCENTRAÇÃO DE N-INORGÂNICO ( $N-NH_4^+$  +  $N-NO_3^-$ ) DA CAMADA DE 0-5 cm.....36

FIGURA 9 - EMISSÃO DE  $CH_4$  DO SOLO SUBMETIDO A SISTEMAS DE PREPARO E A SISTEMAS DE USO DO AZEVÉM NO INVERNO. PC-COB: PREPARO CONVENCIONAL COM AZEVÉM PARA COBERTURA; PD-COB: PLANTIO DIRETO COM AZEVÉM PARA COBERTURA; PD-ILP: PLANTIO DIRETO COM AZEVÉM PARA PASTEJO EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA; PD-ILP-ES: APLICAÇÃO DE ESTERCO; PD-ILP-UR: APLICAÇÃO DE URINA. BARRAS VERTICAIS INDICAM A DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICA PELO TESTE TUKEY ( $P < 0,10$ ). NÚMEROS PRÓXIMOS AS BARRAS CORRESPONDEM AO NUMERO DE ORDEM DE COLETA.....37

FIGURA 10 - EMISSÃO ACUMULADA DE  $CH_4$  DO SOLO SUBMETIDO A SISTEMAS DE PREPARO E A SISTEMAS DE USO DO AZEVÉM NO INVERNO. PC-COB: PREPARO CONVENCIONAL COM AZEVÉM PARA COBERTURA; PD-COB: PLANTIO DIRETO COM AZEVÉM PARA COBERTURA; PD-ILP: PLANTIO DIRETO COM AZEVÉM PARA PASTEJO EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA.....40

## **LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 - PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO BRUNO EM DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO E USO DO AZEVÉM NO INVERNO, CASTRO-PR.....	34
--	----

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	12
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b>	16
2.1. Área experimental	16
2.2. Avaliação da emissão de $N_2O$ e $CH_4$	18
2.2.1. Períodos e intervalos de avaliação	18
2.2.2. Coleta a campo das amostras de ar	18
2.2.3. Análise das amostras de ar e cálculo das taxas de emissão	19
2.2.4. Avaliação da emissão a partir do esterco e urina no sistema PD-ILP	20
2.3. Parâmetros de solo	21
2.3.1. Densidade do solo, porosidade, umidade e porosidade preenchida com água	21
2.3.2. Nitrogênio inorgânico ( $N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$ )	22
2.4. Informações meteorológicas	22
2.5. Análise estatística	23
<b>3. RESULTADOS e DISCUSSÃO</b>	24
3.1. Emissão de $N_2O$	24
3.1.1. Sistemas de preparo do solo	24
3.1.2. Sistemas de uso do azevém no inverno	32
3.1.3. Adubação nitrogenada	34
3.2. Emissão de $CH_4$	35
3.2.1. Sistemas de preparo do solo	35
3.2.2. Sistemas de uso do azevém no inverno	39
<b>4. CONCLUSÕES</b>	42
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	43
<b>6. REFERÊNCIAS</b>	45
<b>7. APÊNDICE</b>	53

## 1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas que vêm ocorrendo no planeta nas últimas décadas são decorrentes principalmente do aumento na emissão de gases do efeito estufa (GEE), como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) (IPCC, 2007). Esses gases ocorrem naturalmente na atmosfera e são responsáveis por manter a temperatura média do planeta entre 15 e 18° C (Baird, 2002), pois têm a capacidade de absorver a radiação infravermelha que é refletida pela superfície terrestre e geram o chamado “efeito estufa”. Caso não houvesse esse efeito estufa, a temperatura média do planeta seria 30° C menor (Valverde et al., 2004), gerando uma condição ecológica muito diferente da atual. Assim, nota-se que o problema das mudanças climáticas que ocorre atualmente não é decorrente do efeito estufa na sua condição original, mas da intensificação desse efeito estufa.

O aumento na concentração dos principais GEE, entre eles o  $\text{N}_2\text{O}$  e o  $\text{CH}_4$ , se intensificou nas últimas décadas, despertando grande preocupação mundial. Desde a era pré-industrial, a concentração de  $\text{N}_2\text{O}$  aumentou de 270 ppb para 319 ppb e a de  $\text{CH}_4$  de 715 ppb para 1774 ppb (IPCC, 2007). Esses aumentos são devidos principalmente a ações antropogênicas, seja de forma direta pelo aumento do uso de combustíveis fósseis, aumento da poluição industrial, aumento das queimadas, ou indiretamente pelo uso irracional dos recursos naturais e também por uma agricultura, em muitos casos, praticada de forma insustentável.

Atualmente, em nível global, a agricultura é um dos setores que mais contribui com a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  (aproximadamente 80 % da emissão total) e de  $\text{CH}_4$  (aproximadamente 50 % da emissão total) (IPCC, 2007), devido principalmente à intensificação dos processos produtivos e em alguns casos pelo preparo intensivo do solo e baixo aporte de resíduos depositados no solo; e também pela abertura de áreas nativas que são convertidas a sistemas produtivos, diminuindo assim os estoques de matéria orgânica do solo.

As principais fontes de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  a partir do solo estão associadas ao uso de fertilizantes nitrogenados (Mosier, 2002) e à mineralização do nitrogênio da matéria orgânica. A emissão pode ocorrer

devido ao processo de nitrificação, onde a oxidação do  $\text{NH}_4^+$  para  $\text{NO}_3^-$  por bactérias quimioautotróficas pode produzir  $\text{N}_2\text{O}$ . Porém, a maior contribuição na emissão é decorrente da desnitrificação, onde ocorre uma redução biológica do  $\text{NO}_3^-$  para  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$  e  $\text{N}_2$ , por bactérias que possuem metabolismo adequado como, por exemplo, as dos gêneros (*Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Clostridium*, *Bacillus*). Na presença de redutores orgânicos e disponibilidade de  $\text{NO}_3^-$  ou  $\text{NO}_2^-$  e restrição de  $\text{O}_2$ , tais bactérias produzem  $\text{N}_2\text{O}$ , sendo esse processo mais intenso logo após a adubação nitrogenada (Smith et al., 2003). As emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  são, geralmente, maiores em solos manejados sob plantio direto (PD) em relação aos manejados sob preparo convencional (PC) (Pavei, 2005; Gomes, 2006; Kessavalou et al., 1998), devido principalmente ao maior adensamento em PD da camada superficial do solo. A maior densidade do solo reduz a difusão de  $\text{O}_2$  em períodos de chuvas e favorece a geração de  $\text{N}_2\text{O}$  (Ball et al., 1999). O não revolvimento do solo e o tráfego de máquinas em PD favorecem o desenvolvimento dos microporos em detrimento dos macroporos, que associado às condições de umidade e temperatura elevadas estimula a atividade microbiana de bactérias desnitrificadoras que se desenvolvem melhor nessas condições de anaerobiose (Gomes, 2006).

Com relação ao  $\text{CH}_4$ , alterações na comunidade bacteriana do solo é que o torna fonte ou dreno desse gás. Segundo Hütsch (1998), a produção de  $\text{CH}_4$  ocorre através de bactérias anaeróbias, pelo processo chamado de metanogênese, em condições de baixo potencial redox e restrição de  $\text{O}_2$  no solo (Smith et al., 2003). Já a oxidação é feita por bactérias aeróbicas metanotróficas, que utilizam o  $\text{CH}_4$  como fonte de energia e carbono, dependendo do  $\text{O}_2$  no solo. Com isso as condições de aeração do solo em diferentes sistemas de preparo e uso podem exercer grande influência para o solo ser fonte ou dreno de  $\text{CH}_4$  para a atmosfera.

Além do preparo do solo, a adubação nitrogenada também afeta a oxidação do  $\text{CH}_4$  através da competição do íon  $\text{NH}_4^+$  com o  $\text{CH}_4$  pela enzima mono-oxigenase, devido ao fato desta ter pouca especificidade por um íon no solo. Assim como o  $\text{NH}_4^+$  encontra-se em maior concentração logo após uma adubação nitrogenada, e também pelo fato de possuir tamanho semelhante ao

CH<sub>4</sub>, ocorre uma diminuição da oxidação deste, sendo retomada somente depois da quase total decomposição do íon NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo (Boeckx et al., 1997). Também segundo Hustch (1998), a acidificação do solo decorrente da adubação nitrogenada pode interferir no estabelecimento da população de bactérias metanotróficas, sendo que a faixa de pH adequada para maximizar a atividade das bactérias metanotróficas situa-se entre 5 - 6,5 (Ler Mer & Roger, 2001) interferindo assim na oxidação do CH<sub>4</sub> a longo prazo. Outro fator que influencia a oxidação do CH<sub>4</sub> é a textura do solo, a qual influencia na taxa de difusão dos gases. Solos arenosos geralmente têm maior poder de oxidação do que solos argilosos, devido às melhores condições de aeração (Boeckx et al., 1997).

Vários estudos de emissão de GEE têm focado os sistemas de preparo do solo, como plantio direto e preparo convencional (Pavei, 2005; Gomes, 2006; Jantalia et al., 2008), e geralmente em sistemas de produção de grãos. Porém, no Sul do Brasil, cresce a utilização de sistemas integrados de produção, com destaque para a integração lavoura-pecuária (ILP), que busca maximizar racionalmente o uso da terra, da infra-estrutura e da mão-de-obra, diversificar a produção, minimizar custos e os riscos e agregar valor aos produtos agropecuários, por meio dos recursos e benefícios que uma atividade proporciona à outra (Moraes et al., 2007; Cassol, 2003). Dentro desse conceito, as áreas de lavoura dão suporte à pecuária por meio da produção de alimento para o animal, seja na forma de pastejo direto, seja na forma de grãos, silagem e feno, aumentando assim a capacidade de suporte da propriedade, diminuindo o uso de insumos, aumentando a reciclagem de nutrientes, permitindo a venda de animais na entressafra e proporcionando melhor distribuição de receita durante o ano (Mello et al., 2004).

No entanto, ao nível de Brasil, e mesmo a nível mundial, não existem muitos estudos para quantificar a mitigação do potencial de aquecimento global (PAG) decorrentes dos sistemas de ILP, embora alguns grupos estejam trabalhando com esse sistema em algumas regiões do país (Sul e Amazônica). Também deve-se considerar que metade da população bovina mundial encontram-se nas regiões tropicais, que são caracterizadas principalmente por

sistemas de pastagem extensiva. Dentro dessas áreas, o Brasil possui o segundo maior rebanho de gado bovino do mundo, com mais de 200 milhões de cabeças (IBGE, 2007), tendo, portanto papel fundamental no desenvolvimento de estratégias para mitigação das emissões de GEE em sistemas de produção integrados.

A contribuição da ILP para a emissão dos GEE está relacionada diretamente com o manejo adotado no sistema de produção como um todo, sendo que há uma maior contribuição por parte dos bovinos nas emissões de  $\text{CH}_4$ , proveniente do processo entérico digestivo, os quais contribuem com cerca 22 % da emissão total global gerada por fontes antrópicas (IPCC, 2007). A contribuição por parte dos dejetos dos animais estima-se que seja em torno 7 % da emissão total global (Primavesi et al., 2004). Com relação à produção de  $\text{N}_2\text{O}$  em sistemas de ILP, pode ocorrer um aumento na taxa de emissão com a deposição de urina no solo pelos animais, e também após a adubação com N mineral nas pastagens, estimulando com isso a atividade das bactérias produtoras de  $\text{N}_2\text{O}$  (Williams et al., 1999).

Entretanto, a ILP em sistema de PD normalmente resulta em melhoria nas propriedades químicas do solo, sendo recomendado para manter e incrementar os teores de carbono (Franzluebbers & Stuedemann, 2008), podendo, conseqüentemente contrabalancear os efeitos da emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$ . A ILP interfere no desenvolvimento das comunidades microbianas, através da deposição dos dejetos pelos animais nas áreas em pastejo, os quais estimulam o acúmulo de C no solo e na própria biomassa microbiana, tendo grande influência nas atividades bioquímicas do solo e conseqüentemente nas emissões de GEE.

O objetivo desse trabalho foi avaliar a emissão de óxido nitroso e metano de um Latossolo Bruno submetido a sistemas de preparo do solo e sistemas de uso do azevém no inverno, envolvendo integração lavoura-pecuária, visando assim contribuir para a avaliação do potencial de mitigação de gases de efeito estufa desses sistemas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área experimental

O trabalho foi conduzido num experimento de campo situado em área experimental da Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, no município de Castro (PR), nas coordenadas geográficas de 24° 47' 53" S e 49° 57' 42" O. O clima da região é classificado como subtropical úmido, Cfb, segundo classificação de Köppen. A temperatura média do mês mais quente é 23° C (Janeiro), e do mês mais frio é 13° C (Julho) e a precipitação média anual é de 1400 mm (Caviglione, et al., 2000). O relevo da área é suave ondulado e a altitude de 996 m. A vegetação nativa era campos limpos e matas de galeria isoladas de floresta ombrófila mista (Maack, 1948). A área do experimento vem sendo cultivada com culturas anuais a mais de 30 anos em sistemas de produção intensivos. O solo do experimento é um Latossolo Bruno distrófico típico (Embrapa/Fundação ABC, 2001), de textura argilosa.

O experimento foi instalado no inverno de 2005, através de uma parceria entre a Fundação ABC e a Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), e desde então vem sendo cultivado com a sucessão azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), no inverno, e milho (*Zea mays* L.) para silagem, no verão. Os tratamentos foram constituídos por três sistemas de uso do azevém no inverno e por sete sistemas de preparo do solo, distribuídos no delineamento experimental de blocos ao acaso com parcelas subdivididas e quatro repetições. Para este estudo, no entanto, foram utilizados somente os seguintes tratamentos:

Sistemas de uso do azevém no inverno:

- Azevém para cobertura do solo (COB), caracterizando um sistema de produção baseado unicamente em lavoura de culturas anuais. O azevém foi semeado em linha, com semeadora, num espaçamento de 17 cm e densidade de 100 kg ha<sup>-1</sup> de semente, geralmente no mês de Abril.



- Azevém para pastejo, caracterizando um sistema de produção baseado na integração lavoura-pecuária (ILP). O azevém foi estabelecido da mesma forma que o sistema anterior. Os pastejos, geralmente em número de três durante o ciclo do azevém, foram feitos por novilhas de 10 a 18 meses de idade, das raças Holandesa e Jersey. A entrada dos animais ocorreu quando o azevém possuía 20 cm de altura; a saída ocorreu quando essa altura foi rebaixada para 10 cm, seguindo os princípios do manejo adequado de pastagens em ILP.

Sistemas de preparo do solo:

- Preparo convencional (PC), com uma operação de gradagem aradora a 15 cm de profundidade, seguida por duas gradagens niveladoras a 10 cm de profundidade, tanto no outono, antes da semeadura do azevém, como na primavera, antes da semeadura do milho. Nesse tratamento de preparo do solo foi avaliado somente o sistema COB, assumindo-se que um dos pressupostos da ILP seja o plantio direto.
- Plantio direto (PD), com dessecação do azevém, para cobertura e do azevém remanescente da pastagem, com herbicida glifosate. Nesse tratamento de preparo do solo foram avaliados tanto o sistema COB como o sistema ILP, de uso do azevém no inverno.

Portanto, a combinação de tratamentos avaliados foi assim constituída:

- PC-COB: Preparo convencional com azevém para cobertura;
- PD-COB: Plantio direto com azevém para cobertura;
- PD-ILP: Plantio direto com azevém para pastejo;

A aplicação de N na cultura do milho foi realizada em cobertura, cerca de 20 dias após a semeadura do milho, quando este apresentava três a quatro folhas com o colar visível. A adubação nitrogenada foi feita com a aplicação de 125 kg N ha<sup>-1</sup> da fórmula 25-00-25, à lanço.

Para o ciclo do azevém, somente o tratamento PD-ILP recebeu adubação nitrogenada, na dose de 58 kg N ha<sup>-1</sup> da fórmula 25-00-25, seguindo os mesmos procedimentos descritos para o milho.

## 2.2. Avaliação da emissão de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>

### 2.2.1. Período e intervalos de avaliação

As avaliações de emissão de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> ocorreram no quarto ano de condução do experimento, de 26/09/2008 à 16/09/2009. As coletas de amostras de ar foram num total de 30, sendo 15 na primavera de 2008, no ciclo de cultivo do milho e 15 no outono/inverno de 2009, no ciclo de cultivo do azevém (Figura 1). Não foi possível avaliar as emissões durante o verão (intervalo de 139 dias) em função de problemas técnicos ocorridos no sistema cromatográfico em uso.

### 2.2.2. Coleta a campo das amostras de ar

Amostras de ar foram coletadas com base no método da câmara estática (Mosier, 1989; Parkin et al., 2003). Um conjunto de três câmaras de PVC (20 cm de altura x 25 cm de diâmetro) foi utilizado em cada microparcela de 2,4 m x 2,4 m, demarcada junto à borda da parcela experimental de 10 m x 10 m. Cada câmara foi assentada, somente durante as coletas, sobre uma base de metal previamente introduzida no solo a 5 cm de profundidade. No interior da câmara foi acoplado um ventilador, acionado por uma bateria, para homogeneizar o ar no momento da coleta da amostra. As avaliações de emissão foram feitas somente em uma das quatro repetições do experimento (Bloco II).

Cada sessão de coleta iniciou às 9:00 h, quando se assentava a câmara de PVC sobre a base de metal, cuja calha continha água para proporcionar a vedação da câmara estática. Nesse momento também se coletava a primeira amostra de ar (tempo 0), a uma altura de aproximadamente 2 m do solo. Para tanto, se utilizou uma seringa de polipropileno de 20 mL equipada com uma válvula de fechamento no orifício de saída. A segunda amostra (tempo 15) foi coletada 15 minutos após, utilizando-se o mesmo tipo de seringa, a partir de

uma válvula situada no topo da câmara. A terceira (tempo 30) e a quarta (tempo 45) amostras foram coletadas aos 30 e 45 minutos, respectivamente, seguindo-se o mesmo procedimento para a amostra do tempo 15.

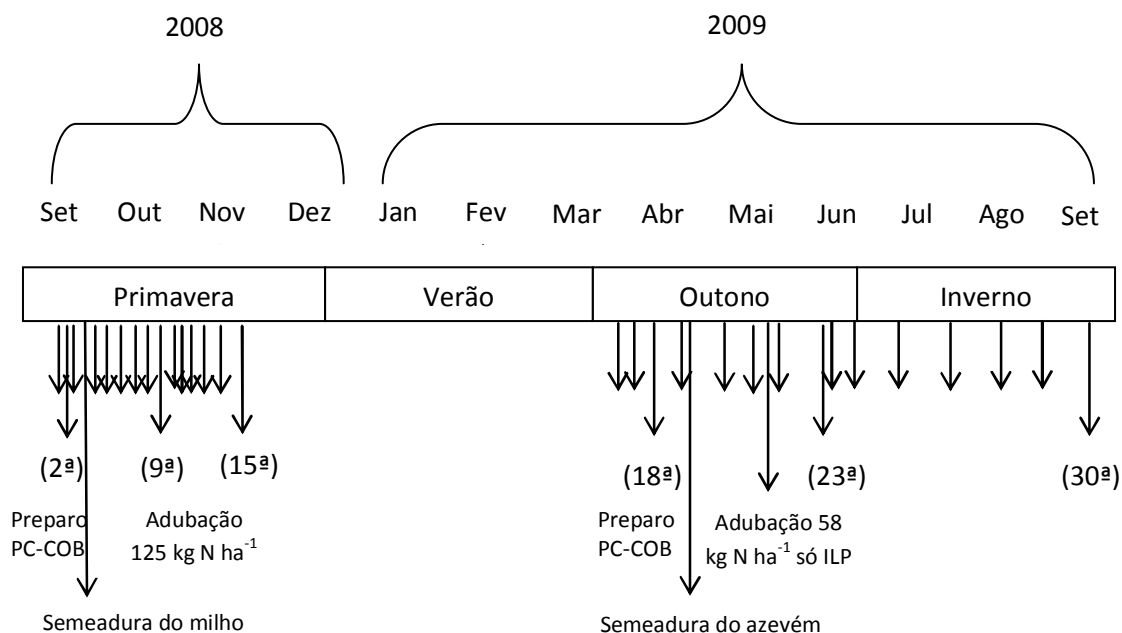


Figura 1. Cronograma das atividades desenvolvidas durante o período de avaliação de emissão de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>.

As seringas contendo as amostras de ar foram acondicionadas em recipiente de isopor contendo uma “bolsa gel” congelada a fim de manter a temperatura interna abaixo de 10 °C durante o transporte até o laboratório.

### 2.2.3. Análise das amostras de ar e cálculo das taxas de emissão

As análises das amostras de ar para a determinação das concentrações de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> foram efetuadas por cromatografia gasosa. As amostras das 15 primeiras coletas foram analisadas num equipamento GC - Shimadzu 14-A, pertencente ao Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Porto Alegre-RS). As amostras da 16ª a 30ª coleta foram analisadas num equipamento semelhante pertencente ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP, Piracicaba-SP). Esses cromatógrafos foram equipados com dois detectores: (i) detector de ionização de chama (FID), para avaliação

de  $\text{CH}_4$ ; e (ii) detector de captura de elétrons (ECD), para avaliações de  $\text{N}_2\text{O}$ . Conhecendo-se a concentração do gás e o volume total interno da câmara, calculou-se o volume do gás contido na câmara. A partir da informação de volume de gás na câmara, de temperatura interna da câmara (medida durante a sessão de coleta), de pressão atmosférica (considerada 1 atm), e da constante universal do gás ideal (R), calculou-se, através da lei do gás ideal, o número de mols (n) e, a partir disso, a quantidade (massa) do gás contido na câmara. Considerando a área de solo contido na base da câmara, foi possível calcular a quantidade (massa) do gás que foi emitido por unidade de área por unidade de tempo. Durante os 45 minutos da sessão de coleta de ar (tempos 0, 15, 30 e 45), ocorreu um incremento linear na concentração dos gases dentro da câmara estática. O coeficiente angular da equação da reta que descreve esse incremento linear na concentração correspondeu à taxa de emissão do gás ( $\text{ppm min}^{-1}$  ou  $\text{ppb min}^{-1}$ ).

Integrando-se os resultados de taxa de emissão obtidos ao longo dos dois períodos de avaliação, foi possível obter a emissão acumulada de  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$  por hectare.

#### 2.2.4. Avaliação de emissão a partir do esterco e urina no sistema PD-ILP

No sistema PD-ILP, por ocasião do primeiro pastejo do azevém (15/06/2009), foi feita a aplicação do esterco e urina. A aplicação do esterco foi feita de maneira pontual, em três bases de câmara na microparcela, simulando a deposição desse dejetos pelos animais a campo. O mesmo procedimento foi usado para urina.

Os dejetos foram coletados a partir de um grupo de animais que pastejavam na área e foram separados num curral. O esterco e a urina eliminados pelos animais foram coletados em recipiente adaptado para essa finalidade. A massa de esterco e o volume de urina ( $n = 7$ ) foram medidos e, a partir disso, determinadas a massa média do esterco, no caso 1,50 kg, e o volume médio de urina, no caso 1200 mL, a ser aplicado em cada base de câmara. A aplicação foi realizada no mesmo dia, ao final da tarde. No dia seguinte pela manhã foi feita a coleta das amostras de ar (Coleta 24, Tabela 1).

A fim de evitar danos nas bases pelos animais, bem como evitar defecações ou urinações indesejáveis dentro das mesmas, todas as bases desta parcela foram protegidas por uma gaiola de metal durante os eventos de pastejo.

### 2.3. Parâmetros de solo

#### 2.3.1. Densidade do solo, porosidade, umidade e porosidade preenchida com água

Amostras indeformadas de solo das camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm foram coletadas em duas trincheiras por parcela, nas quatro repetições de campo, em dezembro de 2008. Foram utilizados anéis volumétricos de 56,3 mm de diâmetro e 29,8 mm de altura. Após uma toaleta das amostras, as mesmas foram saturadas em água por 12 horas e submetidas a uma tensão de 6 kPa (mesa de tensão) por 24 horas para a avaliação da microporosidade. A densidade do solo foi determinada após secagem a 105 °C. A porosidade total foi calculada com base na densidade do solo e densidade de partículas (2,65 Mg m<sup>-3</sup>). A macroporosidade foi calculada pela diferença entre porosidade total e microporosidade. Detalhes dos métodos analíticos estão descritos em Embrapa (1997).

Por ocasião de cada avaliação de emissão de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> foi feita uma avaliação da umidade do solo nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Uma amostra composta de solo (de quatro subamostras) foi coletada em cada microparcela, com o auxílio de um trado calador. Para a determinação da umidade gravimétrica as amostras foram secadas a 105 °C.

Com base nos valores de umidade gravimétrica e densidade do solo, foi calculada a porosidade preenchida por água (PPA em %) através da fórmula:

$$PPA = [(\theta_g \times \sigma_s) / (1 - \sigma_s / \sigma_p)] \times 100 \text{ onde :}$$

- $\theta_g$ : umidade gravimétrica (kg kg<sup>-1</sup>);
- $\sigma_s$ : densidade do solo (Mg m<sup>-3</sup>) e
- $\sigma_p$ : densidade de partícula, 2,65 (Mg m<sup>-3</sup>).

A temperatura do solo foi medida com geotermômetros introduzidos até 5 cm de profundidade.

### 2.3.2. Nitrogênio inorgânico ( $\text{N-NH}_4^+$ e $\text{N-NO}_3^-$ )

Para cada avaliação de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$  foi feita uma avaliação da concentração de  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$  nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Parte de cada amostra de solo coletada para a determinação da umidade foi separada ainda no campo para avaliação de N-inorgânico. As amostras foram congeladas e armazenadas por aproximadamente 180 dias. As amostras foram analisadas pelo método semi-micro-Kjeldahl, conforme descrito por Tedesco et al. (1995) e os valores corrigidos pela umidade do solo.

### 2.4. Informações meteorológicas

Dados de precipitação pluviométrica diária e temperatura média diária do ar foram obtidos em uma micro-estação meteorológica situada na sede da Fundação ABC, a aproximadamente 10 km de distância do experimento. Os dados de precipitação e temperatura são apresentados na Figura 2.

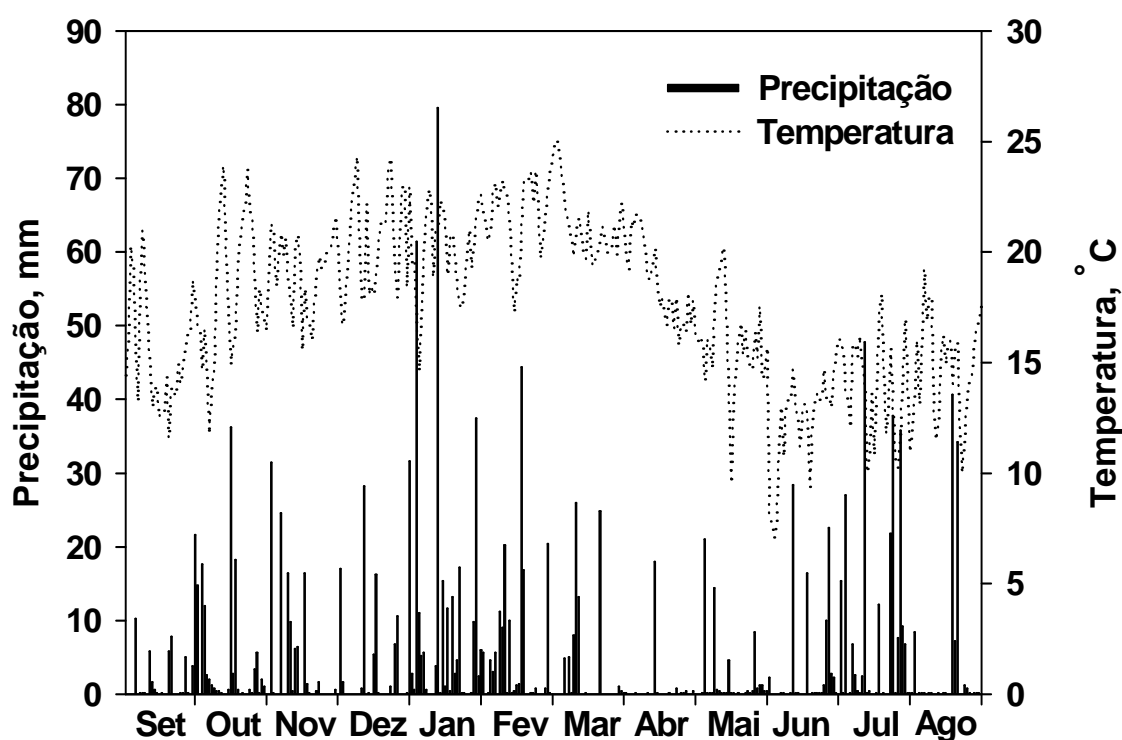


Figura 2. Precipitação pluviométrica diária e temperatura média diária do ar durante o período de avaliação das emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$ . Fonte: Fundação ABC, Castro-PR.

## 2.5. Análise estatística

Os resultados de taxa de emissão e de emissão acumulada de  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$  e dos parâmetros físicos do solo foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias entre tratamentos comparados pelo teste de Tukey ( $p < 0,10$ ). As análises foram realizadas com o programa estatístico SAS, versão 9.0 (SAS Institute Inc.).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Emissão de N<sub>2</sub>O

##### 3.1.1. Sistemas de preparo do solo

A influência dos sistemas de preparo nas taxas de emissão de N<sub>2</sub>O foi praticamente nula no período compreendido entre três dias antes e 31 dias após a operação de preparo do solo para o milho (Coleta 1 a 12), com taxas de emissão semelhantes entre PC-COB e PD-COB (Figura 3). Embora a aplicação de N em cobertura para o milho tenha ocorrido nesse período, aos 24 dias após o preparo, e aumentado consideravelmente a emissão de N<sub>2</sub>O a partir do segundo dia da aplicação (Coleta 11), as taxas de emissão entre PC-COB e PD-COB se mantiveram semelhantes nos sete dias seguintes (até o 31º dia após o preparo).

Maior emissão de N<sub>2</sub>O foi observada no solo sob PC-COB em relação ao solo sob PD-COB somente a partir do 36º dia após o preparo (12 dias após a aplicação de N, Coleta 13) (Figura 3); sendo essa diferença intensificada até 45 dias após o preparo (Coleta 15), quando se observou um pico de emissão de 368  $\mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  em PC-COB. Esse foi o maior valor de taxa de emissão observado em todo o estudo, mas ainda assim inferior àqueles de 500  $\mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  encontrados para o preparo convencional num Argissolo do Rio Grande do Sul com utilização de leguminosas e com alta umidade (Zanatta, 2009); e em algumas condições de clima temperado (Venterea et al., 2005; Liu et al., 2006).

As maiores taxas de emissão no solo em PC-COB podem estar associadas à aceleração da mineralização do nitrogênio contido no resíduo de azevém, decorrente de uma combinação entre (i) o aumento do contato solo-resíduo após o preparo, e (ii) a maior disponibilidade de N inorgânico após a aplicação de N fertilizante em cobertura para o milho (Figura 4), num suposto efeito “priming”, ocorrendo com isso um favorecimento na mineralização do N da matéria orgânica através do estímulo a uma maior atividade microbiana após aplicação do nitrogênio mineral, o qual serviu de fonte de energia aos microrganismos (Jenkinson et al., 1985).



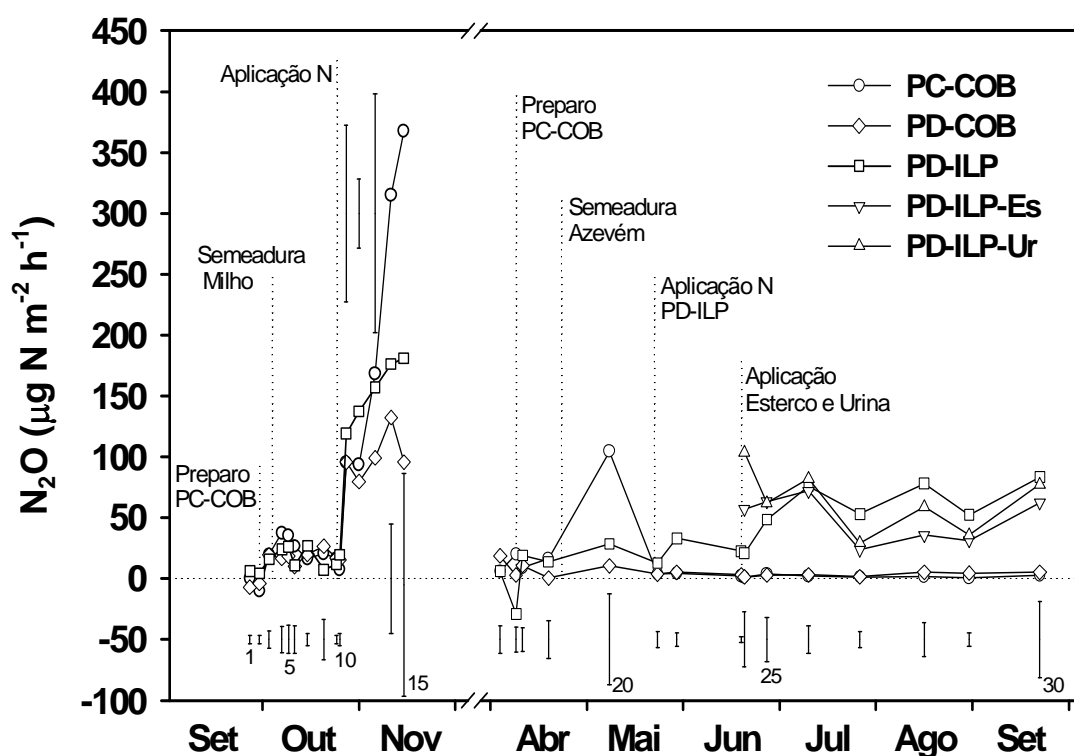


Figura 3. Taxa de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  do solo submetido a sistemas de preparo e a sistemas de uso do azevém no inverno. PC-COB: preparo convencional com azevém para cobertura; PD-COB: plantio direto com azevém para cobertura; PD-ILP: plantio direto com azevém para pastejo em integração lavoura-pecuária; PD-ILP-Es: aplicação de esterco; PD-ILP-Ur: aplicação de urina. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey ( $p < 0,10$ ). Números próximos as barras correspondem ao numero de ordem de coleta.

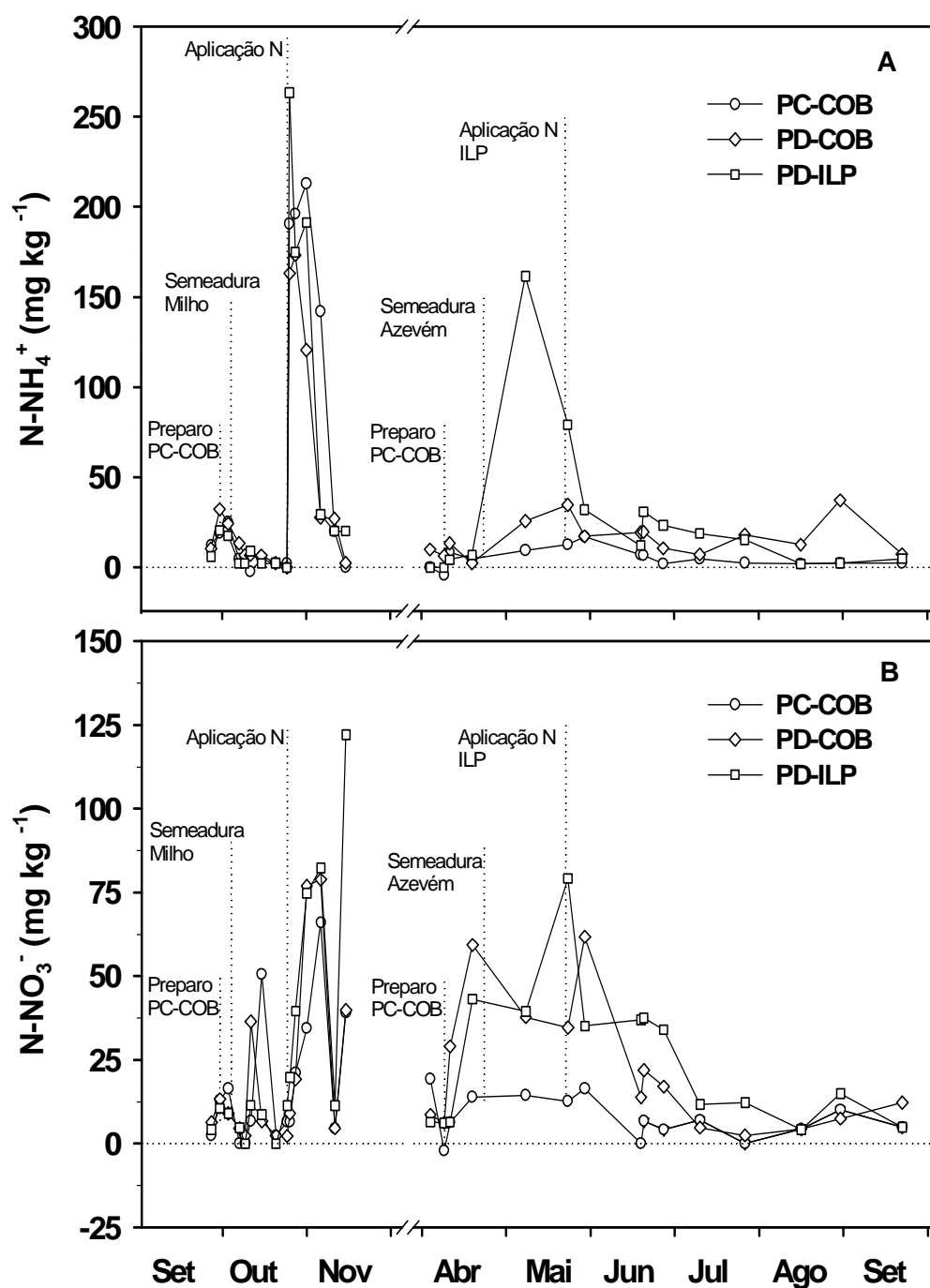


Figura 4. Concentração de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (A) e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (B) na camada de 0-5 cm do solo submetido a sistemas de preparo e a sistemas de uso do azevém no inverno. PC-COB: preparo convencional com azevém para cobertura; PD-COB: plantio direto com azevém para cobertura; PD-ILP: plantio direto com azevém para pastejo em integração lavoura-pecuária.

Merino et al. (2004), avaliando a emissão de  $N_2O$  em sistemas de preparo com baixos valores de PPA, não verificaram aumento nas emissões de  $N_2O$  com a incorporação dos resíduos vegetais. Outros estudos também não encontraram diferenças significativas nas emissões de  $N_2O$  entre sistemas de preparo em clima tropical (Passionato et al., 2003; Gomes, 2006; Jantália et al., 2008), mantendo uma tendência de diferenças somente após eventos de chuva ou adubação nitrogenada.

Considerando que a capacidade de campo do solo é atingida quando a porosidade preenchida com água (PPA) é de 69 % no PC-COB e 82 % no PD-COB, na camada de 0-5 cm (Tabela 1), observa-se que em praticamente todas as avaliações de emissão, o solo encontrava-se numa condição de umidade abaixo da capacidade de campo (Figura 5). Nesse caso, pode-se considerar a nitrificação como um importante processo de produção de  $N_2O$ , especialmente quando se leva em conta o fato da emissão de  $N_2O$  por nitrificação ser maximizada numa condição de umidade inferior a 50 % da capacidade de campo (Davidson et al., 2000). Baixa PPA favorece a condição de aerobiose que, associada a altos teores de  $N-NH_4^+$  logo após a adubação nitrogenada, favorece a produção de  $N_2O$  pelo processo de nitrificação (Dalal et al., 2003).

No ciclo do azevém, emissões também foram semelhantes entre PC-COB e PD-COB entre 5 dias antes e 10 dias após o preparo (Coletas 16 a 19) (Figura 3). Aos 29 dias após o preparo no sistema PC-COB (coleta 20) ocorreu um pico de emissão, porém, diminuindo na coleta seguinte que ocorreu 43 dias após o preparo (Figura 3). A maior emissão na coleta 20 no ciclo do azevém seguiu a mesma tendência observada para o milho, como foi explicado anteriormente, onde o maior contato entre o material vegetal e o solo decorrente do preparo, estimulou o processo de decomposição dos resíduos, aumentando atividade microbiana refletindo na maior emissão. Também pode ter contribuído para esse pico de emissão em PC-COB os valores de PPA que tenderam a serem altos (Figura 5), mesmo esses ficando abaixo do que em PD-COB, pode ter ocorrido em PC-COB um efeito conjunto da PPA e da maior decomposição dos resíduos fazendo com que o processo de desnitrificação fosse maximizado, estimulando a atividade de bactérias desnitrificadoras,

aumentando a emissão de  $N_2O$ . No entanto Liu et al. (2007) observaram uma emissão muito maior em PD em relação ao PC com valores acima de 70 % de PPA em ambos os sistemas.

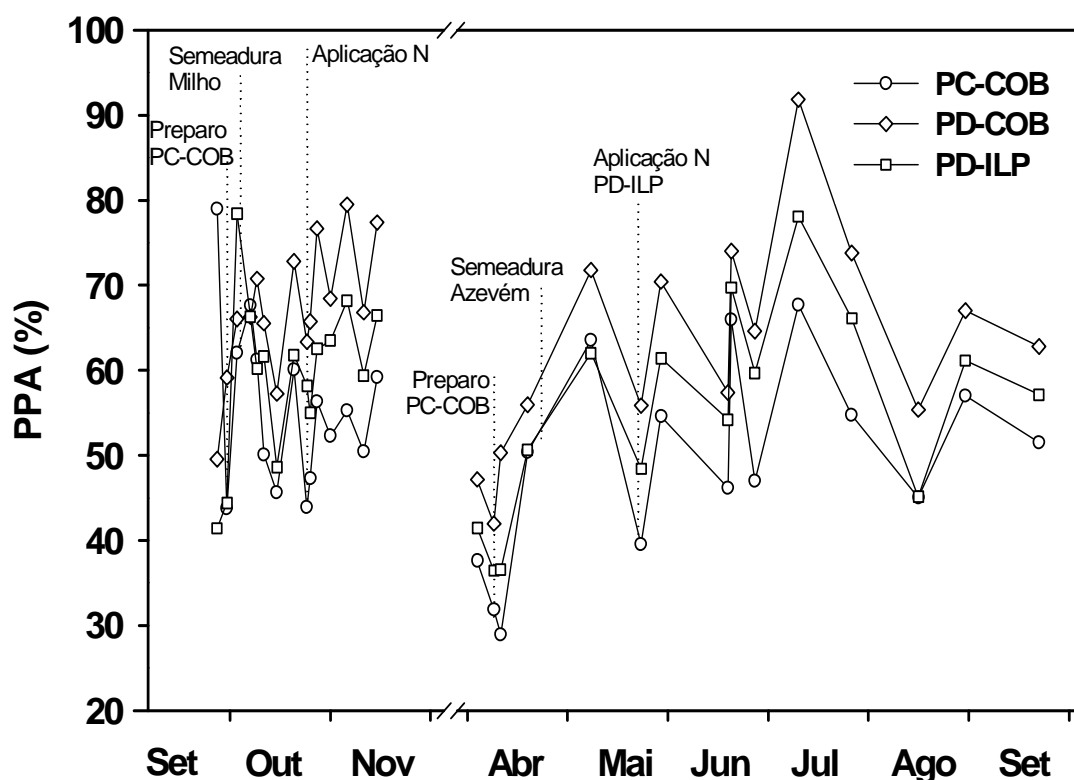


Figura 5. Porosidade preenchida por água (PPA) na camada de 0-5 cm do solo submetido a sistemas de preparo e a sistemas de uso do azevém no inverno. PC-COB: preparo convencional com azevém para cobertura; PD-COB: plantio direto com azevém para cobertura; PD-ILP: plantio direto com azevém para pastejo em integração lavoura-pecuária.

Apesar de alguns picos de emissão de  $N_2O$  ocorrerem de maneira associada a valores de PPA acima de 60 % (Coletas 3, 4, 11, 19, 26) (Figura 3 e 5), numa análise conjunta considerando todas as avaliações, não se observou uma relação significativa da emissão de  $N_2O$  e PPA (Figura 6). Outros estudos em diferentes regiões também não encontraram relação entre essas variáveis (Jantalia et al., 2008; Metay et al., 2007; Pavei, 2005).

No restante do ciclo do azevém, as emissões entre PC-COB e PD-COB foram praticamente às mesmas e se mantiveram muito baixas (Figura 3). A menor emissão aos 43 dias após o preparo (coleta 21) em ambos os sistemas pode ser devido ao fato dos valores de PPA ficarem por volta de 50 % em PD-COB e 40 % em PC-COB (Figura 5). Nas coletas seguintes, os teores de  $N-NH_4^+$  e  $N-NO_3^-$  diminuíram consideravelmente (Figura 4), possivelmente em função da absorção do N pelo azevém ao longo do seu desenvolvimento.

Como resultado das taxas de emissão ao longo do período de avaliação, a emissão total acumulada foi maior em PC-COB ( $1,45 \text{ kg de } N-N_2O \text{ ha}^{-1}$ ) do que em PD-COB ( $0,76 \text{ kg de } N-N_2O \text{ ha}^{-1}$ ) (Figura 7). Vale destacar que a maior emissão em PC-COB ocorreu na forma de picos isolados de emissão, e não de maneira constante ao longo do tempo. Esses resultados mostram que sistemas de preparo que não utilizem o revolvimento do solo em clima tropical associados a uma maior eficiência na utilização de adubos inorgânicos podem contribuir para a mitigação de  $N_2O$  em sistemas agrícolas. Ao contrário do estudo de Ball et al. 1999 em clima temperado que indicou uma maior emissão de  $N_2O$  em PD devido principalmente a maior umidade e densidade do solo, os quais condicionam ambientes anaeróbicos produzindo  $N_2O$ . Não existe, porém, uma conclusão definitiva sobre qual sistema de preparo emite mais ou menos  $N_2O$  em nível de Brasil e, até mesmo mundial. Num estudo conduzido no Cerrado, as emissões variaram entre 0,3 e 0,4  $\text{kg de } N \text{ ha}^{-1}$ , não diferindo entre preparo convencional e plantio direto (Metay et al., 2007). Também não foi observada diferença estatística entre PD e PC em clima tropical no estado de Rondonia (Passionato et al., 2003). Porém na região Sul do Brasil, relatos indicam uma tendência de emissão anual superior em plantio direto em relação ao preparo convencional (Jantalia et al., 2008).

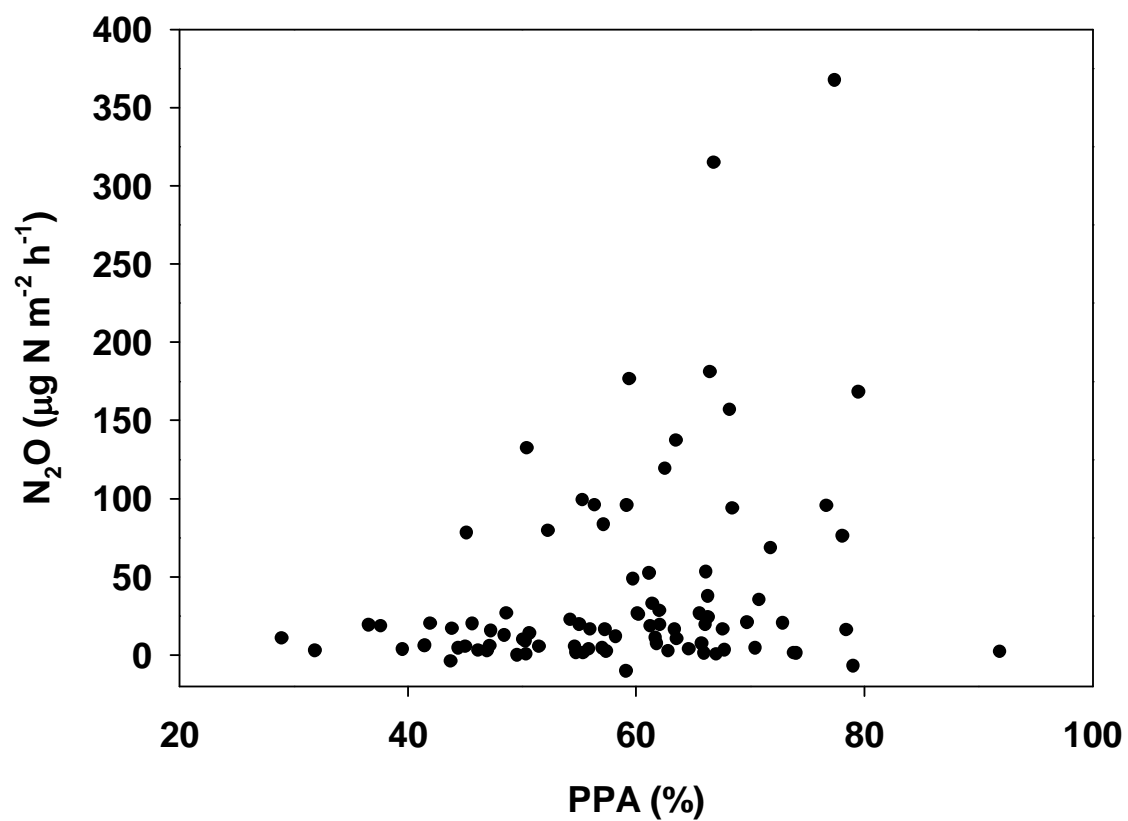


Figura 6. Relação entre a emissão de N<sub>2</sub>O e a PPA (%) da camada de 0-5 cm.

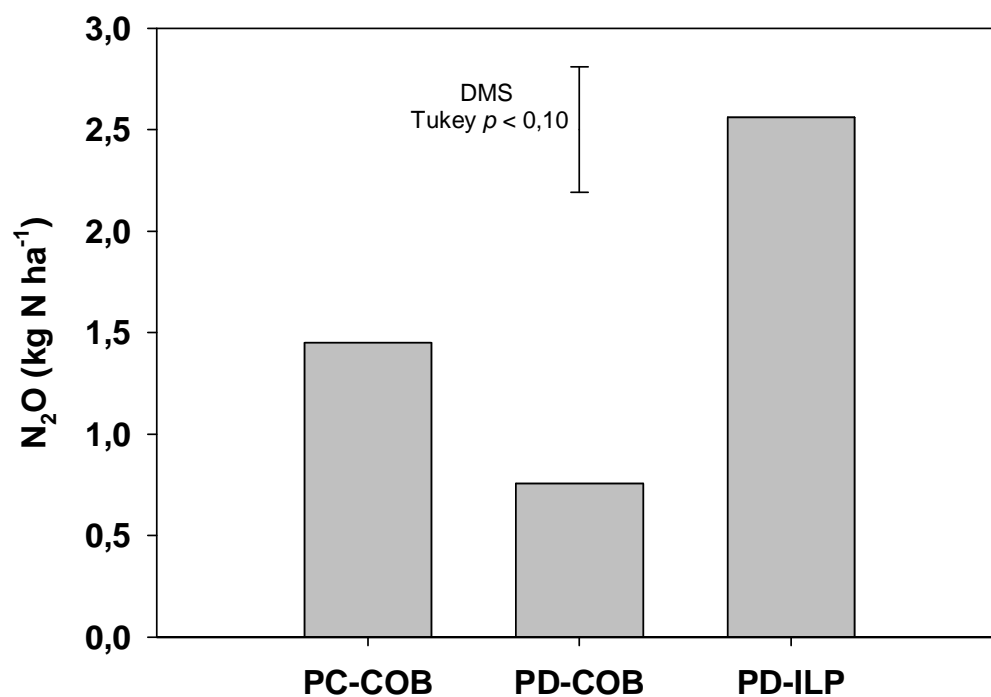


Figura 7. Emissão acumulada de  $N_2O$  do solo submetido a sistemas de preparo e a sistemas de uso do azevém no inverno. PC-COB: preparo convencional com azevém para cobertura; PD-COB: plantio direto com azevém para cobertura; PD-ILP: plantio direto com azevém para pastejo em integração lavoura-pecuária.

### 3.1.2. Sistemas de uso do azevém no inverno

Entre os sistemas de uso do azevém no inverno PD-COB e PD-ILP não foram observadas diferenças nas emissões de  $N_2O$  no período compreendido entre três dias antes até 25 dias após o preparo para a cultura do milho (Coleta 1 a 10) (Figura 3). Somente ocorreram diferenças três dias após a aplicação de N (Coleta 11), mantendo uma tendência de maior emissão em PD-ILP até os 21 dias após a adubação, que corresponde à última coleta no ciclo do milho (coleta 15) (Figura 3).

As maiores taxas de emissão em PD-ILP a partir da coleta 11 podem estar relacionadas com uma maior concentração de N-inorgânico nesse sistema (Figura 4). Desde a implantação do experimento há quatro anos o tratamento PD-ILP recebe adubação nitrogenada de cobertura tanto no verão ( $125 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) como no inverno ( $58 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), ocorrendo assim um aporte de N maior ao longo dos anos em relação ao PD-COB, que recebe adubação somente na cultura do milho (verão). Essa maior disponibilidade de N associada a condições de solo com presença de matéria orgânica,  $O_2$ , temperatura e umidade (Dobbie & Smith, 2001) proporcionam condições que determinam a atividade das bactérias (nitrificadoras/desnitrificadoras) (Firestone & Davidson, 1989), refletindo numa maior emissão.

A maior disponibilidade de N e condições de PPA acima de 60 % favorecem a atividade microbiana desnitrificadora em PD-ILP, resultando assim em maior emissão de  $N_2O$  (Oenema et al., 1997). Condição anaeróbica associada a altas concentrações de N, principalmente na forma de  $N-NO_3^-$ , são condições ideais para o aumento da atividade das bactérias desnitrificadoras (Smith et al., 2003).

Em praticamente todo o ciclo do azevém a emissão de  $N_2O$  foi maior em PD-ILP (Figura 3). Com a aplicação de N somente no sistema PD-ILP, a diferença em relação ao PD-COB se intensificou como era de se esperar. Maiores emissões de  $N_2O$  em solos de pastagens de inverno também tem sido atribuídas à alta disponibilidade de N-inorgânico e à elevada PPA em condições de clima subtropical na Nova Zelândia (Saggar et al., 2004).



Sistemas de pastejo também podem influenciar na emissão de  $N_2O$  através da compactação (Oenema et al., 1997; Thomas et al., 2008) causada pelo pisoteio animal. O aumento da densidade do solo pelo pisoteio causa problemas de aeração principalmente após precipitação, criando condições propícias ao processo de desnitrificação e conseqüentemente emissão de  $N_2O$ . Entretanto, no presente estudo não foram observadas diferenças significativas nas propriedades físicas, especialmente na densidade do solo, entre os sistemas de uso do azevém no inverno (Tabela 1). A não detecção de diferenças nas propriedades físicas no presente estudo pode estar associada à metodologia de coleta de amostras em anéis, a qual pode não ter identificado esta suposta compactação na camada superficial do solo.

A emissão de  $N_2O$  aumentou no sistema PD-ILP após a aplicação de dejetos (Coleta 23) (Figura 3). A aplicação de 1200 mL de urina proporcionou um pico de emissão de  $N_2O$  ( $103 \mu g N m^{-2} h^{-1}$ ) nas primeiras 24 horas após a aplicação (Coleta 24), caindo para ( $61 \mu g N m^{-2} h^{-1}$ ) três dias após a aplicação (Figura 3). Essa maior emissão de  $N_2O$  a partir da urina foi supostamente decorrente da maior concentração de N e de PPA, como encontrado por Saggart et al. (2004b) e Luo et al. (2008), em condição de clima subtropical na Nova Zelândia, avaliando a emissão de  $N_2O$  após a aplicação de urina de vaca em diferentes estações do ano, encontraram que a emissão de  $N_2O$  foi elevada após a aplicação da urina.

A emissão proveniente da aplicação 1,50 kg de esterco foi menor do que a da urina (Figura 3), provavelmente devido às condições físicas do esterco e do processo de decomposição deste ser mais demorado. Valores maiores de emissão de  $N_2O$  a partir da urina em relação ao esterco também foram observados por Yamulki et al., (2000) em clima temperado na Inglaterra.

Tabela 1. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno em diferentes sistemas de preparo do solo e uso do azevém no inverno. Castro-PR.

Sistema <sup>(1)</sup>	Densidade do solo	Porosidade total	Macro-porosidade	Micro-porosidade	PPA na CC <sup>(2)</sup>
	kg dm <sup>-3</sup>	-----	m <sup>-3</sup> m <sup>-3</sup> -----		-- % --
			0-5 cm		
PC-COB	1,09 a <sup>(3)</sup>	0,59 a	0,18 a	0,41 b	69
PD-COB	1,17 a	0,55 a	0,10 b	0,45 a	82
PD-ILP	1,16 a	0,56 a	0,10 b	0,46 a	82
			5-10 cm		
PC-COB	1,20 a	0,55 a	0,11 a	0,44 a	80
PD-COB	1,23 a	0,54 a	0,11 a	0,43 a	80
PD-ILP	1,19 a	0,55 a	0,13 a	0,42 a	76
			10-20 cm		
PC-COB	1,22 a	0,54 a	0,12 a	0,42 a	78
PD-COB	1,24 a	0,53 a	0,12 a	0,41 a	77
PD-ILP	1,17 a	0,56 a	0,15 a	0,41 a	73

(1) PC-COB: preparo convencional com azevém para cobertura; PD-COB: plantio direto com azevém para cobertura; PD-ILP: plantio direto com azevém para pastejo em integração lavoura-pecuária.

(2) Porosidade preenchida com água (PPA) na condição de capacidade de campo (CC).

(3) Valores na coluna, dentro da mesma camada, seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente de acordo com o Teste de Tukey ( $P < 0,10$ ).

### 3.1.3. Adubação Nitrogenada

No primeiro dia após a aplicação de N no milho (Coleta 10) não ocorreu diferença nas emissões de N<sub>2</sub>O (Figura 3). O efeito da adubação na emissão de N<sub>2</sub>O apareceu dois dias após a adubação (Coleta 11). O aumento na emissão somente após dois dias pode estar relacionado com o tempo necessário para que ocorresse a nitrificação do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> para NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e a desnitrificação deste para N<sub>2</sub>O (Carmo et al., 2005). Valores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> podem ter efeito na emissão de N<sub>2</sub>O a partir de 3 mg kg<sup>-1</sup> de solo (Parton et al., 1996), sendo que nesse estudo valores chegaram a 263 mg kg<sup>-1</sup> de solo (Figura 4).

Estratégias de mitigação de N<sub>2</sub>O devem ser empregadas em sistemas de produção integrados, com o objetivo de reduzir a produção N<sub>2</sub>O. Diante disso, estratégias no sentido de melhorar a eficiência da adubação nitrogenada

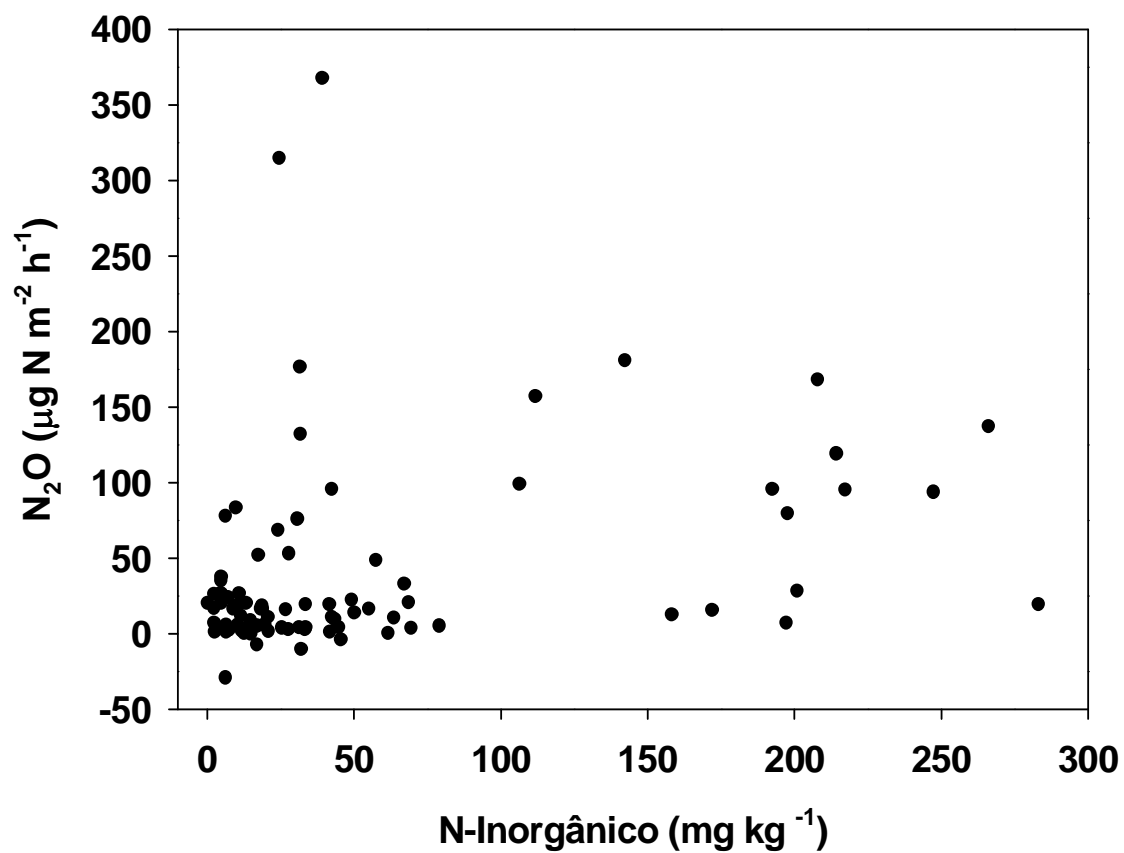
para as culturas, conciliando a disponibilidade do nutriente com a marcha de absorção pela cultura, são formas de prevenir emissões elevadas de  $N_2O$ , bem como de reduzir as perdas do nutriente.

Mesmo tendo picos de emissão de  $N_2O$  após a adubação nitrogenada, não foi encontrada relação significativa entre a concentração de N-inorgânico no solo e a emissão de  $N_2O$ , quando todas as avaliações foram consideradas em conjunto (Figura 8). Outros autores também não encontraram relação entre emissão de  $N_2O$  e concentração de N inorgânico, mesmo com a tendência de maior emissão de  $N_2O$  após a adubação nitrogenada (Zanatta, 2009; Yamulki et al., 1997).

### 3.2. Emissão de $CH_4$

#### 3.2.1. Sistemas de preparo do solo

As taxas de emissão de  $CH_4$  três dias antes e no dia do preparo em PC-COB para o milho (Coletas 1 e 2) foram semelhantes entre os sistemas de preparo, com valores negativos e indicando, portanto, um influxo desse gás para o solo (Figura 9). Três dias após o preparo (Coleta 3), houve, no entanto, uma tendência de efluxo de  $CH_4$  no sistema PC-COB em relação ao PD-COB. Esse efluxo pode ser atribuído ao rompimento da estrutura do solo causada pelo preparo, liberando então o  $CH_4$  eventualmente contido no espaço poroso. Além desse efeito físico direto, a alteração na estrutura do solo pelo preparo diminui a capacidade das bactérias em oxidar  $CH_4$  (Ball et al., 1999) em função da diminuição das condições físicas, químicas e biológicas do solo que são ideais ao estabelecimento das bactérias metanotróficas (Smith et al., 2000).



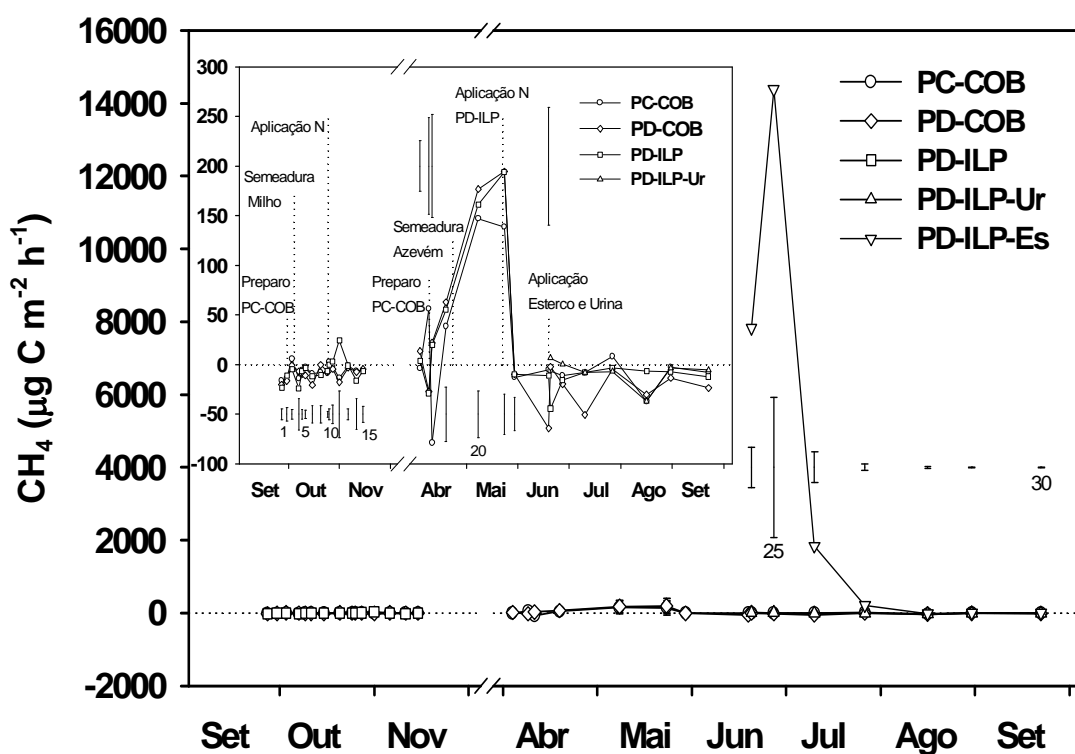


Figura 9. Emissão de  $\text{CH}_4$  do solo submetido a sistemas de preparo e a sistemas de uso do azevém no inverno. PC-COB: preparo convencional com azevém para cobertura; PD-COB: plantio direto com azevém para cobertura; PD-ILP: plantio direto com azevém para pastejo em integração lavoura-pecuária; PD-ILP-Es: aplicação de esterco; PD-ILP-Ur: aplicação de urina. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey ( $p < 0,10$ ). Números próximos as barras correspondem ao número de ordem de coleta.

Os sistemas de preparo PD-COB e PC-COB mantiveram a tendência de influxo de CH<sub>4</sub> no solo dos sete aos 45 dias após o preparo (Coletas 4 a 15), sem grandes variações entre eles (Figura 9). Em condições de clima temperado, avaliando os fluxos de CH<sub>4</sub> entre preparo convencional e plantio direto, Omonode et al. (2007) também não encontraram efeito nas emissões entre os preparos, mantendo-se na maior parte das avaliações como dreno de CH<sub>4</sub> da atmosfera. Resultado semelhante foi encontrado por Jacinte & Lal (2005), no estado de Ohio nos Estados Unidos, onde não foram observadas diferenças entre os sistemas de preparo, tendo uma tendência de dreno do CH<sub>4</sub> da atmosfera.

Entre 29 e 42 dias após o preparo de inverno (Coletas 20 e 21), ocorreu um pico expressivo de emissão em ambos os sistemas, embora o PD-COB tivesse uma tendência de apresentar maior emissão (Figura 9), com valores superiores a 150  $\mu\text{g C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , decaindo a valores negativos na coleta seguinte, 50 dias após o preparo. É possível que esse pico de emissão de CH<sub>4</sub> esteja associado com o comportamento da PPA (Figura 5), que também apresentou um pico coincidente na mesma época do pico de emissão do CH<sub>4</sub>, na primeira quinzena de maio (Figura 9).

O influxo de CH<sub>4</sub> observado a partir dos 50 dias se manteve até o final das avaliações (Coleta 30). O maior influxo em PD em relação ao PC observado nesse período foi consistente com os resultados encontrados por Ussiri et al. (2009), avaliando a emissão de CH<sub>4</sub> em diferentes sistemas de preparo do solo no estado de Ohio nos Estados Unidos, eles atribuíram a menor oxidação do CH<sub>4</sub> em PC a diminuição da atividade microbiana, devido a perturbação física. A interferência na estrutura do solo pelo preparo causa problemas de ordem física, biológica e química nos parâmetros que definem os nichos das bactérias metanotróficas (Hutsch, 1998).

Foi observada uma tendência de temperaturas mais baixas (Figura 2) no início de Junho (Coleta 22), que associada ao fato do resíduo cultural já ter sido praticamente decomposto, pode ter contribuído para o influxo de CH<sub>4</sub> no solo. Temperaturas abaixo de 15 °C e menor precipitação nesse período também podem ter diminuído a produção de CH<sub>4</sub> pela inibição da metanogênese (Ler

Mer & Roger, 2001) e aumento da atividade metanotrófica. Condições de umidade e temperaturas mais elevadas proporcionam ambientes favoráveis para que a metanogênese seja maximizada devido a uma maior adaptação da população metanogênica nesse ambiente (Ler Mer e Roger, 2001).

Apesar de algumas tendências de variações nas taxas de emissão ao longo do tempo entre os sistemas de preparo, a emissão total acumulada de  $\text{CH}_4$  no período de avaliação não diferiu significativamente entre os sistemas PC-COB ( $0,68 \text{ kg C-CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ ) e PD-COB ( $0,64 \text{ kg C-CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ ) (Figura 10). As emissões ocorridas no período parecem estar muito mais associadas à PPA (Figura 9 e 5), controlada principalmente pelo regime de chuvas, do que ao sistema de preparo em si.

### 3.2.2. Sistemas de uso do azevém no inverno

Os fluxos negativos de  $\text{CH}_4$  não foram afetados pelos sistemas de uso do azevém no inverno, da 1ª até a 11ª coleta (Figura 9). Ocorreu, no entanto, um pico de emissão em PD-ILP sete dias após a adubação nitrogenada (Coleta 12), decorrente da maior concentração de  $\text{N-NH}_4^+$  neste sistema (Figura 4A). A partir da coleta 22, o sistema PD-ILP tendeu a absorver menos  $\text{CH}_4$  devido principalmente a maior concentração de N adicionado em cobertura a esse sistema em relação ao PD-COB.

A adubação nitrogenada tem interferência direta na oxidação de  $\text{CH}_4$ , através da competição do íon  $\text{NH}_4^+$  com o  $\text{CH}_4$  pela enzima mono-oxigenase, onde o primeiro encontra-se em maior concentração imediatamente após a adubação, atuando assim como inibidor do  $\text{CH}_4$  (Reay & Nedwell, 2004; Boeckx et al., 1997). Em condições de clima temperado na Europa foi encontrada diferença na emissão de  $\text{CH}_4$  entre sistemas de uso do solo com culturas de grãos e pastagem, tendendo a ser maior na pastagem (Merino et al., 2004).

Um dia após aplicação do esterco (Coleta 24), houve um pico de emissão de  $\text{CH}_4$ , aumentando consideravelmente na coleta seguinte, oito dias

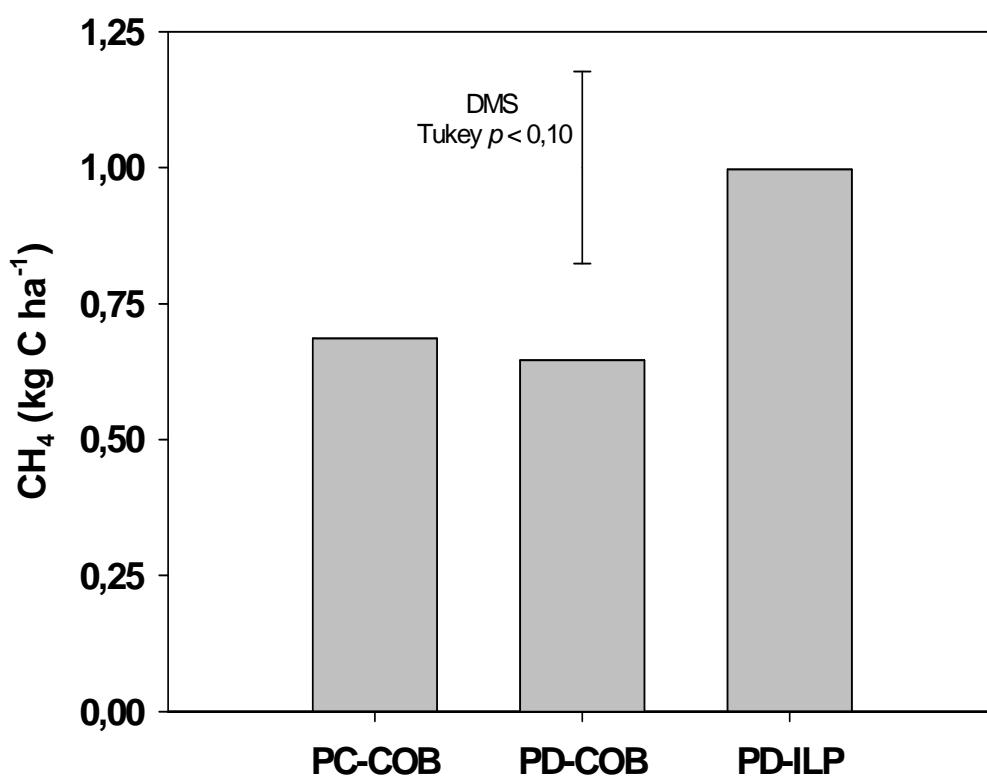


Figura 10. Emissão acumulada de  $\text{CH}_4$  do solo submetido a sistemas de preparo e a sistemas de uso do azevém no inverno. PC-COB: preparo convencional com azevém para cobertura; PD-COB: plantio direto com azevém para cobertura; PD-ILP: plantio direto com azevém para pastejo em integração lavoura-pecuária.



após a aplicação, chegando a valores de  $14000 \mu\text{g C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  (Figura 9), e diminuindo um mês depois (Coleta 27) à valores mínimos. As maiores emissões após deposições de esterco são atribuídas a metanogênese na placa fecal, com a maior atividade microbiana estimulada por compostos orgânicos mais assimiláveis e também pela condição anaeróbica do esterco no momento da aplicação (Sherlock et al., 2002). Os valores  $\text{CH}_4$  observados neste estudo decorrentes do esterco ficaram bem acima dos encontrados em outros trabalhos (Jones et al., 2005; Saggar et al., 2008). Resultados próximos com a aplicação de esterco foram observados por Lin et al. (2009) chegando a  $10000 \mu\text{g C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , sendo estes atribuídos as condições anaeróbicas do esterco e pela maior população microbiana. A aplicação da urina não teve efeito na emissão de  $\text{CH}_4$ , resultado semelhante ao encontrado por Lin et al. (2009).

Em decorrência das taxas de emissão ao longo do tempo de avaliação, a emissão total acumulada de  $\text{CH}_4$  no solo foi superior no PD-ILP ( $0,99 \text{ kg C-CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ ) em comparação ao PD-COB ( $0,64 \text{ kg C-CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ ) (Figura 10), possivelmente relacionado ao fato do total de N adicionado ao sistema PD-ILP ter sido maior do que em PD-COB.

#### 4. CONCLUSÕES

Solo manejado sob plantio direto apresentou menor emissão de  $N_2O$  em relação ao solo manejado sob preparo convencional, possivelmente em função da menor mineralização dos resíduos culturais, pois os mesmos não são incorporados ao solo como no preparo convencional. Isso, aliado aos relatos de maior sequestro de carbono no solo sob plantio direto, reforça o potencial que esse sistema de manejo possui no sentido de contribuir para a mitigação do aquecimento global.

A emissão de  $CH_4$  a partir do solo não é influenciada pelo sistema de preparo, mas por outros fatores ambientais, com destaque para a umidade do solo.

Solo cultivado com azevém para pastejo, num sistema de integração lavoura-pecuária, possui maior emissão de  $N_2O$  e de  $CH_4$  em relação ao solo cultivado com azevém no inverno com a finalidade exclusiva de cobertura, possivelmente em decorrência da maior aplicação de fertilizante nitrogenado na pastagem de azevém e reciclagem de N através da urina e esterco no sistema integrado.

A pesquisa em gases de efeito estufa terá continuidade e a análise do impacto dos sistemas de produção na emissão de GEE deverá considerar o acúmulo de C no solo, custos em  $CO_2$  e produção de grãos e carne.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A agricultura mundial esta cada vez mais comprometida com os problemas do aquecimento global que estão modificando o clima e prejudicando o meio ambiente, uma vez que a emissão de GEE é proveniente em parte da própria cadeia agrícola. Países com vocação agrícola, como o Brasil, tem papel fundamental neste processo. Diante disso, a região Sul possui papel de destaque no setor agrícola Brasileiro por ser umas das maiores produtoras de grãos. Com isso, órgãos de pesquisa e universidades têm buscado desenvolver pesquisas a fim de tentar encontrar mecanismos para mitigar a emissão de  $N_2O$  e  $CH_4$ .

Práticas de manejo que visem um menor revolvimento do solo e que com isso diminuam a erosão associadas a um esquema de rotação que desempenhe o papel de fornecer palhada ao solo e também de disponibilizar principalmente nitrogênio ao sistema podem atuar como estratégias para aumentar o sequestro de C e com isso diminuir a emissão de  $N_2O$  e aumentar o consumo de  $CH_4$  pelos solos.

Vários estudos apontam estratégias que visam à eficiência dos adubos inorgânicos diminuindo sua potencialidade de emissão de  $N_2O$ . Sistemas de rotação de culturas que diminuam a quantidade de N aportado ao sistema concomitante com a aplicação de produtos que inibam a atividade da enzima urease e também ocorrendo uma liberação mais lenta ao solo podem favorecer a menor emissão de  $N_2O$ . Melhoria das técnicas de aplicação dos fertilizantes nitrogenados de forma a reduzir as perdas no processo de desnitrificação e nitrificação também são algumas estratégias.

Em sistemas integrados inúmeras estratégias podem e devem ser empregadas para tentar mitigar a emissão como, por exemplo:

- Dietas mais balanceadas aos animais, visando o controle da produção entérica através da ingestão controlada de energia dos alimentos;
- Deposição dos dejetos no campo e ou em confinamento, forma de gerenciar esses dejetos, e sua reaplicação ao solo (modo, época, quantidade);

Mas essas estratégias por refletirem diretamente em uma mudança no comportamento da sociedade em geral, tem restrições quanto a sua aplicação, criando com isso dificuldades para implantação.

Aliado a tudo isso devem-se ter incentivos financeiros e regulamentações governamentais para desenvolvimento de mecanismos limpos neste setor.

## 6. REFERÊNCIAS

BAIRD, C. Química Ambiental. O Efeito Estufa e o Aquecimento Global. Cap. 4. Ed. Bookman, Porto Alegre: 622p. 2002.

BALL, B. C.; SCOTT, A. & PARKER, J. P. Field N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. Soil Till. Res., 53:29-39, 1999.

BOECKX, P.; VAN C. & VILLARALVO, I. Methane oxidation in soils with different textures and land use. Nut. Cycl. Agr., 49:91-95, 1997.

CARMO, J. B. do.; ANDRADE, C. A.; CERRI, C. C. & PICCOLO, M. C. Disponibilidade de nitrogênio e fluxos de N<sub>2</sub>O a partir de solo sob pastagem após aplicação de herbicida. R. Bras.Ci. Solo. 29:735-746, 2005.

CASSOL, L. C. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície.** 2003. 143f. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná.** Londrina: IAPAR, 2000. CD

DALAL, R. C.; WANG, W.; ROBERTSON, G. P. & PARTON, W. J. Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: review. Austr. J. soil Res., 41:165-195, 2003.

DAVIDSON, E. A.; KELLER, M.; ERICKSON, H.E.; VERCHOT, L.V. & VELDKAMP, E. Testing a conceptual model of soils emissions of nitrous and nitric oxides. Biol. Sci., 50:667-680, 2000.

DOBBIE, K. E & SMITH, K. A. The effects of temperature, water-filled pore space and land use on N<sub>2</sub>O emissions from an imperfectly drained gleysol. Eur. J. soil Sci., 52:667-673, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Embrapa Solos), p. 212, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA: EMBRAPA/Fundação ABC. **Mapa do Levantamento semidetalhado de solos**: Município de Castro. Castro, 2001.

FIRESTONE, M.K. & DAVIDSON, E.A. Microbiological basis of NO and N<sub>2</sub>O production and consumption in soil. In: ANDREAE, M. O.; SCHIMMEL, D.S. (Eds) Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere, Berlin. p. 7-21, 1989.

FRANZLUEBBERS, A. J. & STUEDEMANN, J. A. Early Response of Soil Organic Fractions to Tillage and Integrated Crop–Livestock Production. Soil Sci. Soc. Am. J., 72:613-625, 2008.

GOMES, J. **Emissão de Gases de Efeito Estufa e Mitigação do Potencial de Aquecimento Global por Sistemas Conservacionistas de Manejo do Solo**, 2006. 129p. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

HÜSTCH, B.W. Methane oxidation in arable soil as inhibited by ammonium, nitrite and organic manure with respect to soil pH. Biol. Fert. Soils., 28:27-35, 1998.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da pecuária municipal**. Dezembro de 2007. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias>, acesso: 12/05/2009.

INTERGOVERNAMENTAL PAINEL of CLIMATE CHANGE. IPCC, 2007. **The physical sciences basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge. Cambridge University Press, 2007.

JACINTE, P. A. & LAL, R. Labile carbon and methane uptake as affected by tillage intensity in a Mollisol. *Soil Till. Res.*, 80:35-45, 2005.

JANTALIA, C. P.; SANTOS, H. P. dos; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. & ALVES, B. J. R. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. *Nut. Cycl. Agr.*, 82:161-173, 2008.

JENKINSON, D.S.; FOX, R.H. & RAYNER, J.H. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen - the so-called "priming effect". *J. Soil Sci.*, 36:425-444, 1985.

JONES, S. K.; REES, R. M.; SKIBA, U. M. & BALL, B. C. Greenhouse gas emissions from a managed grassland. *Global Plan. Change.*, 47:201-211, 2005.

KESSAVALOU, A.; MOISER, A. R.; DORAN, J. W.; DRIJBER, R. A.; DREW, J. L. & HEINEMEYER, O. Fluxes of carbon dioxide, nitrous oxide, and methane in grass sod and winter wheat-fallow tillage management. *J. Environ. Qual.*, 27:1094-1104, 1998.

LER MER, J. & ROGER, P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review. *Eur. J. Soil Biol.*, 37:25-50, 2001.

LIN, X.; WANG, S.; MA, X.; XU, G.; LUO, C.; LI, Y.; JIANG, G. & XIE, Z. Fluxes of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O in an alpine meadow affected by yak excreta on the Qinghai-Tibetan plateau during summer grazing periods. *Soil Biol. Biochem.*, 41:718-725, 2009.

LIU, X. J.; MOSIER, A. R.; HALVORSON, A. D. & ZHANG, F. S. Impact of nitrogen placement on, NO, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> fluxes from non-tilled soil compared with conventional-tilled soil. *Plant Soil.*, 280:177-188, 2006.

LIU, X. J.; MOSIER, A. R.; HALVORSON, A. D.; REULE, C. A. & ZHANG, F. S. Dinitrogen and N<sub>2</sub>O emissions in arable soils: Effect of tillage, N source and soil moisture. *Soil Biol. Biochem.*, 39:2362-2370, 2007.

LUO, J.; LINDSEY, S. B. & LEDGARD, S. F. Nitrous oxide emissions from animal urine application on a New Zealand pasture. *Biol. Fert. Soils.*, 44:263-470, 2008.

MAACK, R. Notas preliminares sobre clima, solos e vegetação do Estado do Paraná. Curitiba, Arquivos de Biologia e Tecnologia., 2:102-200, 1948.

MELLO, L. M. M.; YANO, E. H.; NARIMATSU, K. C. P. & TAKAHASHI, C. M.; BORGHI, E. Integração agricultura-pecuária em plantio direto: produção de Forragem e resíduo de palha após pastejo. *Engen. Agríc.*, 24:121-129, 2004.

MERINO, A.; BATALLON-PERÉZ, P. & MACIAS, F. Responses of soil organic matter and greenhouse gas fluxes to soil management and land use changes in a humid temperate region of southern Europe. *Soil Biol. Biochem.*, 36:917-925, 2004.

METAY, A.; OLIVER, R.; SCOPEL, E.; DOUZET, J-M.; MOREIRA, J. A. A.; MARAUX, F.; FEIGL, B. J. & FELLER, C. N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions from soils



under conventional and no-till management practices in Goiânia (Cerrados, Brazil). *Geoderma*, 141:78-88, 2007.

MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F.; PELISSARI, A.; ALVES, S.J. & LANG, C.R. Sistemas de integração lavoura-pecuária no Subtropical da América do Sul: Exemplos do Sul do Brasil. In: Moraes, A., Carvalho, P.C.F., Sulc, R.M. (Editors), *Simpósio Internacional em Integração Lavoura-Pecuária*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, pp. CD. 2007.

MOSIER, A.R. Chamber and isotope techniques. In: ANDREAE, M.O. & SCHIMMEL, D.S., ed. *Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere: report of the Dahlem Workshop*. Berlin, Wiley, p.175-187, 1989.

MOSIER, A. R. Environmental challenges associated with needed increases in global nitrogen fixation. *Nutr. Cycl. Agr.*, 63:101-116, 2002.

OENEMA, O.; VELTHOF, G. L.; YAMULKI, S. & JARVIS, S. C. Nitrous oxide emissions from grazed grassland. *Soil use manag.*, 13:288-295, 1997.

OMONODE, R. A.; VYN, T. J.; SMITH, D. R.; HEGYMEGI, P. & GAL, A. Soil carbon dioxide and methane fluxes from long-term tillage systems in continuous corn and corn-soybean rotations. *Soil Till. Res.*, 95:182-195, 2005.

PARKIN, T.; MOSIER, A.; SMITH, J.; VENTEREA, R.; JOHNSON, J.; REICOSKY, D.; DOYLE, G.; MCCARTY, G. & BAKER, J. Chamber-based trace gas flux measurement protocol. **USDA-ARS GRACEnet**, 2003.

PARTON, W.J.; MOISER, A.R.; OJIMA, D.S.; VALENTINE, D.W.; SCHIMMEL, D. S.; WEIER, K. & KULMALA, A.E. Generalized model for N<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O production from nitrification and denitrification. *Global Biogeochem. Cycl.*, 10:401-412, 1996.

PASSIONATO, C. C.; AHRENS, T.; FEIGL, B. J.; STEUDLER, P. A.; CARMO, J. B. do & MELILLO, J. M. Emissions of CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, and NO in conventional and no-till management practices in Rondônia, Brazil. *Biol. Fert. soils.*, 38:200-208, 2003.

PAVEI, M. A. **Decomposição de resíduos culturais e emissão de gases do efeito estufa em sistemas de manejo do solo em Ponta Grossa (PR)**, 2005. 114p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em ecologia de agroecossistemas, Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP, 2005.

PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R. T. S.; PEDREIRA, M. S.; LIMA, M. A.; BERCHIELLI, T. T. & BARBOSA, P. F.; Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:277-283, 2004.

REAY, D.S. & NEDWELL, D.B. Methane oxidation in temperate soils: effects of inorganic N. *Soil Biol. Biochem.*, 36:2059-2065, 2004.

SAGGAR, S.; ANDREW, R. M.; TATE, K. R.; HEDLEY, C. B.; RODDA, N. J. & TOWNSEND, J. A. Modeling nitrous oxide emissions from dairy-grazed pastures. *Nutr. Cycl. Agr.*, 68:243–255, 2004b.

SAGGAR, S.; TATE, K. R.; GILTRAP, D. L. & SINGH, J. Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide and methane in New Zealand terrestrial ecosystems and their mitigation options: a review. *Plant Soil.*, 309:25-42, 2008.

SHERLOCK, R. R.; SOMMER, S. G.; KHAN, R. Z.; WOOD, C. W.; GUERTAL, E. A.; FRENEY, J. R.; DAWSON, C. O. & CAMERON, K. C. Ammonia, methane, and nitrous oxide emission from pig slurry applied to a pasture in New Zealand. *J. Environ. Quality.*, 31:1491–1501, 2002.

SMITH, K. A.; DOBBIE, K. E.; BALL, B. C.; BAKKEN, L. R.; SITAULA, B. K.; HANSEN, S.; BRUMME, R.; BORKEM, R.; CHRISTENSEN, S.; PRIEMÉ, A.; FOWLER, D.; MACDONALD, J. A.; SKIBA, U.; KLEMEDTSSON, L.; KASIMIR-KLEMEDTSSON, A.; DEGORSKA, A. & ORLANSKI, P. Oxidation of atmospheric methane in Northern European soils, comparison with other ecosystems, and uncertainties in the global terrestrial sink. *Global Change Biol.*, 6:791-803, 2000.

SMITH, K. A.; BALL, T.; CONEN, F.; DOBBIE, K. E.; MASSHEDER, J. & REY, A. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *Eur. J. Soil Sci.*, 54:779–791, 2003.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. J. **Análise de Solo, Plantas e Outros Materiais**. 2nd. Porto Alegre, Departamento de Solos UFRGS, 174p. 1995.

THOMAS, S. M.; BEARE, M. H.; FRANCIS, G. S.; BARLOW, H. E. & HEDDERLEY, D. I. Effects of tillage, simulated cattle grazing and soil moisture on N<sub>2</sub>O emissions from a winter forage crop. *Plant Soil.*, 309:131-145, 2008.

USSIRI, D. A. N.; LAL, R. & JARECKI, M. K. Nitrous oxide and methane emissions from long-term tillage under a continuous corn cropping system in Ohio. *Soil Till. Res.*, 104:247-255, 2009.

VALVERDE, S. R.; MATTOS, A. D. M.; JACOVINE, L. A. G.; SILVA, M. L.; & NEIVA, S. A. Oportunidades do mercado de CO<sub>2</sub>. **Boletim Informativo**. SCBS, 29:34-37, 2004.

VENTEREA, R. T.; BURGER, M. & SPOKAS, K. A. Nitrogen Oxide and Methane Emissions under Varying Tillage and Fertilizer Management. *J. Environ. Quality.*, 34:1467-1477, 2005.

YAMULKI, S.; JARVIS, S. C. & OWEN, P. Nitrous oxide emissions from excreta applied in a simulated grazing pattern. *Soil Biol. Biochem.*, 30:491-500, 1997.

YAMILKI, S.; WOLF, I.; BOL, R.; GRANT, B.; BRUMME, R.; VELDKAMP, E. & JARVIS, S. C. Effects of dung and urine amendments on the isotopic content of N<sub>2</sub>O released from grasslands. *Rapid Commun. Mass Spectr.*, 14:1356-1360, 2000.

ZANATTA, J. A. **Emissão de óxido nitroso afetada por sistemas de manejo do solo e fontes de nitrogênio**, 2009. 92p. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

WILLIAMS, D. L. L.; INESON, P. & COWARDS, P. A. Temporal variations in nitrous oxide fluxes from urine-affected grassland. *Soil Biol. Biochem.*, 31:779–788, 1999.

## 7. APÊNDICE



**Fotos 1 e 2.** Vista geral do conjunto das três câmaras de coleta de GEE, ligadas a bateria portátil. A base de metal contém uma calha com água, para vedação do sistema. Seringas de coleta são acopladas no topo da câmara. Na parte inferior a um ventilador acoplado para homogeneizar o ar durante a coleta.





**Fotos 3 e 4.** Operação de preparo na parcela PC-COB com uma gradagem aradora e duas niveladoras.





**Foto 5.** Animais no curral para coleta dos dejetos. **Foto 6.** Recipiente com a urina dos animais. **Foto 7.** Placa fecal coletada para aplicação na parcela PD-ILP. **Foto 8.** Aplicação do esterco e urina nas bases da parcela PD-ILP.



**Fotos 9 e 10.** Distribuição das câmaras na parcela PD-ILP após aplicação dos dejetos.

## RESUMO BIOGRÁFICO

Jonatas Thiago Piva, filho de Hilário e Leocirse Piva, nasceu em 13 de Julho de 1985, em Dois Vizinhos (PR). Viveu a infância na cidade, mas teve contato direto com o interior devido à família ser oriunda do campo. Coursou as séries iniciais (1ª até a 4ª) na Escola Municipal 28 de Novembro, Dois Vizinhos (PR) e completou os estudos do ensino fundamental e médio na Escola Estadual Dois Vizinhos (PR). Em 2003 ingressou no curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco - “UTFPR”, graduando-se no ano de 2007. De fevereiro de 2008 a fevereiro de 2010, realizou o Curso de Mestrado em Ciência do Solo, na área de Pedologia e Manejo do solo, sob orientação do Prof. Jeferson Dieckow, no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná – “UFPR”. Em março de 2010 iniciará o curso de Doutorado, no programa de pós-graduação em produção vegetal da Universidade Federal do Paraná – “UFPR”, com orientação do Prof. Anibal de Moraes e Co-orientação do Prof. Jeferson Dieckow. É membro da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo desde 2008.



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.